63e Année 1er Trimestre 1957 N° 1

# ANNALES DE GEMBLOUX

## ORGANE TRIMESTRIEL

### de l'Association des Ingénieurs sortis de l'Institut Agronomique de l'Etat à Gembloux.

*(Association sans but lucratif).*

## SOMMAIRE



Secrétaire de Rédaction:
R. GEORLETTE
207, av. R. Neybergh,
BRUXELLES II




Editeur :
J. DUCULOT
GEMBLOUX

---

Compte chèques-postaux n° 1660.59 : Association des Ingénieurs de Gembloux, 4, avenue des Narcisses, Uccle 3.

Compte-courant n° 64.431 de l'Association à la Société générale de Belgique, à Bruxelles.

---



---

Prix du numéro : 60 francs.

---

Abonnements annuels.

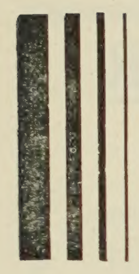
| | |
|---|---|
| Pour le pays : | 225 fr. |
| Pour les bibliothèques publiques et les librairies : | 180 fr. |
| Pour l'étranger : | 250 fr. |

Les abonnements sont reçus par le Secrétaire de l'A. I. Gx., M. J. Carrière, 85, rue de l'Été, Ixelles (tél. 48.81.55).

---



---



ANNALES DE GEMBLOUX

63e Année. 1er Trimestre 1957. No 1

# Considérations sur la chimie des phosphates

par

P. MARTENS,

*Professeur à l'Institut Agronomique de l'État, à Gembloux* (*).

Monsieur le Ministre de l'Agriculture,
Monsieur le Délégué du Ministre de l'Instruction publique,
Monsieur le Délégué du Ministre des Colonies,
Monsieur le Recteur,
Mesdames et Messieurs,
Chers Collègues,
Chers Étudiants,

Je garde un souvenir ému à la mémoire de mon regretté maître, Achille GRÉGOIRE, Directeur de la Station de Physique et de Chimie agricoles à Gembloux, qui m'a donné le goût des recherches et des études relatives aux phosphates.

C'était en 1932. Depuis, avec des fortunes diverses, mes recherches personnelles se sont avancées, de sorte qu'aujourd'hui il me sera possible, au cours de cette leçon inaugurale, de vous donner la primeur de certains résultats.

Car malgré le grand nombre de connaissances accumulées depuis un siècle sur tout ce qui touche aux composés du phosphore, journellement on rencontre encore des publications captivantes, illustrant ce qu'a si bien dit DE LA VALLÉE POUSSIN : « La nature est un sphinx qui ne livre jamais son secret qu'à moitié ».

* * *

(*) Leçon inaugurale de la rentrée académique du 1er octobre 1956.

On raconte qu'en 1660, un nommé BRAND qui s'occupait d'alchimie prépara par hasard une substance inconnue jusqu'alors, qui brillait dans l'obscurité. De cette propriété lui vint son nom de phosphore, c'est-à-dire porteur de lumière.

Les curieuses propriétés de cette matière incitèrent BRAND à garder le secret de sa préparation qu'il vendit plus tard à KRAFT, autre alchimiste habitant Dresde. Mais après quelques années, soit par suite d'indiscrétions, soit par suite de découvertes nouvelles, le phosphore était préparé par de nombreuses personnes.

C'est au siècle suivant qu'on reconnut sa présence dans les os, puis dans diverses roches et minéraux ; qu'on distingua ses divers aspects ; qu'on découvrit et décrivit ses oxydes et ses principaux sels.

Il n'entre pas dans mes intentions de vous entretenir de toutes ces choses si captivantes d'intérêt qu'on peut entendre sur les divers aspects du phosphore, sur les propriétés et les modes de préparations de ses composés, sur leurs usages, sur leur radioactivité. Je me limiterai à une étude rapide de quelques sels de l'acide phosphorique parce qu'ils présentent une importance particulière pour les agronomes : je dis les phosphates du calcium.

L'acide orthophosphorique que décrivit SCHEELE dès 1777, est un liquide dont la filiation avec le phosphore peut se représenter comme suit :

$$P \xrightarrow{O_2} P_2O_5 \xrightarrow{H_2O} HPO_3 \xrightarrow{H_2O} H_4P_2O_7 \xrightarrow{H_2O} H_3PO_4.$$

C'est un acide dont les constantes de dissociation ont respectivement les valeurs suivantes :

$$K_1 = 10^{-2}$$
$$K_2 = 10^{-7}$$
$$K_3 = 10^{-13}$$

montrant qu'il forme trois types de sels :

1) les phosphates monométalliques, acides ;
2) les phosphates bimétalliques, neutres ;
3) les phosphates trimétalliques, alcalins.

Les pyrophosphates et les métaphosphates peuvent être obtenus par thermolyse des orthophosphates suivant les équations suivantes :

$$2\,Na\,H_2\,PO_4 \begin{cases} \rightarrow Na_2\,H_2\,P_2O_7 + H_2O \\ \rightarrow 2Na\ PO_3 + 2\ H_2O \end{cases}$$

$$2\,Na\,HPO_4 \rightarrow Na_4\,P_2\,O_7 + H_2O.$$

La facile polymérisation des métaphosphates leur a réservé un puissant

intérêt scientifique et pratique ; il suffit de signaler leur usage comme adoucisseurs d'eau.

L'acide phosphorique forme ainsi trois principaux sels avec le calcium : les phosphates monocalcique, bicalcique et tricalcique, et on est actuellement certain qu'il en existe d'autres qui ont été décelés par la spectrographie aux rayons X.

La source de fabrication des phosphates est à chercher dans l'exploitation des phosphates naturels : apatites (fluophosphates cristallisés) et phosphorites (plus ou moins amorphes). Les vieux os trouvent ainsi un usage dans les fabrications de phosphates plus spécialement réservés aux usages alimentaires. Ni les phosphorites, ni les os ne sont des phosphates tricalciques.

L'emploi le plus intensif des phosphates de calcium est réalisé en agriculture ; deux qualités sont exigées : un bas prix de revient et une bonne efficacité.

L'emploi des phosphates naturels ne semble réservé qu'à quelques types de sols : les sols organiques s'en accommodent.

Et cependant la solubilité dans l'eau de ces phosphates est bien réduite : elle atteint à peine 4 mg de $P_2O_5$ par litre d'eau après une longue macération pour les phosphates riches et tendres du type des phosphates tunisiens ; et elle tombe à quelques dixièmes de milligrammes par litre pour les phosphates durs et les craies phosphatées.

Cette diminution est normale, si, nous appuyant sur la loi des équilibres chimiques, nous considérons la richesse des craies phosphatées en carbonate de calcium, donneur d'ion calcium qui s'oppose à la dissolution du phosphate, d'après l'équation :

$$[Ca]_3 \ [PO_4]_2 = Ks.$$

Je ne crois pas qu'on puisse attribuer l'efficacité de certains types de phosphates naturels à leur corrosion par les racines de certaines plantes. SACHS a réalisé autrefois pareil type de corrosion sur plaquette de marbre par des racines de haricots.

Je nie la corrosion directe et n'y vois qu'un phénomène chimique d'équilibre : la mise en solution sous l'influence de l'eau et de l'acide carbonique ; la rupture de l'équilibre de dissolution par suite de l'absorption par la plante d'un des principes dissous se traduit par une accélération de mise en solution au niveau des organes d'adsorption. L'observation de SACHS était exacte ; elle date de 1859 ; la loi des équilibres chimiques date de 1867.

La dissolution des phosphates naturels par l'eau chargée d'acide carbonique est lente et l'agronome aime à être renseigné rapidement sur les qualités que présentent les matériaux qu'il utilise pour améliorer la fertilité de ses sols. De ce besoin de rapidité, vient l'idée d'utiliser comme réactif d'étude des solutions d'acide, faibles de préférence, comme l'acide lactique, utilisées dans des conditions aisément reproductibles, codifiées et convenues.

Et ici, on constate des faits apparemment troublants. Le phénomène de dissolution paraît complexe ; il ne s'éclaircit que si on dissocie les facteurs d'action : origine, âge géologique, tendreté et finesse des grains de phosphate, concentration et nature de l'acide, durée d'action, température du traitement, concentration et nature des sels dissous.

Ce dernier point présente un intérêt remarquable ; on est généralement d'accord pour reconnaître que la mise en solution est d'autant plus rapide et plus complète que l'acidité est élevée, ce qui se traduit par une faible valeur du pH. Celle-ci est naturellement fixée par les concentrations en acide ou en sel, d'où cette conclusion que l'attaque se ralentit au cours de la dissolution à la suite de la neutralisation progressive de l'acide, et à la suite de l'accroissement de concentration en sels dissous.

Dans le mécanisme de ce phénomène l'application de la loi des équilibres chimiques alliée à l'étude de la cinétique de la réaction conduirait certainement à des déductions intéressantes.

Quoi qu'il en soit, à égalité d'acidité titrable, le pouvoir dissolvant des principaux acides organiques se classe grosso modo dans l'ordre croissant suivant :

Ac. acétique $<$ oxalique $<$ citrique $<$ malique $<$ lactique $<$ tartrique.

La présence de sels de calcium dans la liqueur d'attaque ralentit considérablement la vitesse de mise en solution ; les quelques résultats suivants en donneront une idée.

L'expérience est conduite en agitant pendant 30 minutes 5 grammes de phosphate dans 500 cc d'acide citrique à 2 % (pH 2,1) d'une part, d'autre part le même volume d'acide citrique à 2 % saturé en citrate de calcium (pH = 3,2).

| | $P_2O_5$ dissous % du total | |
|---|---|---|
| | Ac. citrique 2 % | Ac. cit. 2 % + citrate. |
| Phosphate de Gafsa | 40. | 4,1 |
| Phosphate de Floride | 19. | 2. |
| Poudre d'os | 82. | 58. |
| Scories Thomas | 95,1 | 95,1 |

Les conclusions sont patentes : l'origine des phosphates est primordiale ; la solubilité des scories, contrairement à celle des phosphates, n'est pas affectée ; les poudres d'os conservent un bon coefficient de mise en solution.

Les variétés de phosphates tricalciques qu'on obtient en laboratoires n'ont pas exactement les propriétés des phosphorites ; ils sont plus tendres et plus facilement dissous ; leur intérêt réside surtout dans leur structure, dans la connaissance des phénomènes qu'accompagne le passage des formes de l'acide phosphorique soluble à l'acide phosphorique insoluble des os. Problème biologique captivant auquel se sont attachés médecins et minéralogistes.

Ce sont ces derniers qui, par l'étude de la structure, ont pu démontrer l'existence contestée du phosphate tricalcique et la présence dans les phosphates

de calcium naturels de dérivés de l'hydroxyapatite $Ca_4 (PO_4)_2 . (OH)_2$, sel de l'acide hypothétique $H_6P_2O_{10}$.

La solubilité dans l'eau des scories de déphosphoration Thomas est faible ; à cause de la présence de chaux libre elle ne dépasse pas 1 mg $P_2O_5$/litre. Heureusement, elle augmente par la disparition de la chaux et l'action de l'acide carbonique.

Les scories sont, d'ailleurs, assez aisément solubles dans les liqueurs d'acides faibles. Leur expansion en agriculture date de 1890, époque où WAGNER, à Darmstadt, démontre qu'elles possèdent une efficacité agricole et qu'il existe une relation entre leur valeur fertilisante et leur solubilité dans une liqueur d'acide citrique employée dans des conditions expérimentales définies. A savoir les débats, les discussions, les controverses qui agitèrent à ce sujet le monde agricole en général et les stations agronomiques allemandes, en particulier, c'est, comme aurait dit KIPLING, une autre histoire.

Le phosphate monocalcique $Ca_2 (H_2PO_4)_2 . H_2O$ est l'élément constitutif des superphosphates dans lesquels il est associé en ordre principal avec le sulfate de calcium.

Le phosphate monocalcique est soluble dans l'eau, du moins lorsque la solution est diluée. En milieu concentré, il se dissocie suivant l'équation :

$$Ca (H_2PO_4)_2 + H_2O \rightarrow CaHPO_4 + H_3PO_4.$$

L'acidité du milieu augmente, en même temps qu'il se produit un précipité de phosphate bicalcique.

La limite de solubilité totale est, pour le sel pur, située à une valeur dont les mesures ont varié avec les auteurs ; elle se trouve être à la température ordinaire.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Pour *Stoklasa* | 1 | dans | 200 | d'eau |
| » *Erlenmeyer* | 1 | » | 700 | » |
| » *Stollenwarck* | 1 | » | 61 | » |
| et pour *Sanfourche* | 1 | » | 77 | » |

L'élévation de la température favorise la marche de la réaction vers la droite, alors que la présence d'acide libre (cas des superphosphates) la ramène vers la gauche.

De son côté, la présence de sulfate de chaux ne reste pas indifférente. Et ici, phénomène assez curieux constaté par SANFOURCHE, c'est la partie du sulfate calcique semi-hydraté, non dissous, qui modifie les phénomènes de dissolution en provoquant la dissociation du phosphate monocalcique. On s'expliquerait, disent SANFOURCHE et FOCET, la présence simultanée dans un super de phosphate bicalcique et d'acide libre à une concentration relativement élevée par la combinaison du sulfate de chaux et du phosphate bicalcique, hypothèse

confirmée dans la suite par la découverte de l'ardéalite $CaHPO_4 . CaSO_4 . 4H_2O$ dans les dépôts de guanos.

La préparation de phosphates défluorinés et la nécessité de produire des composés fluorés ont conduit certaines usines américaines à chauffer les superphosphates pour les transformer en métaphosphates.

La déshydration du phosphate monocalcique sous l'action d'une élévation de température peut être contrôlée au moyen de la thermobalance. C'est une balance dont le plateau supportant le creuset à chauffer est situé dans un four à température contrôlable. L'enregistrement de variation des poids s'opère automatiquement.

Nous avons pu réaliser nos observations grâce à la générosité du Fonds National de la Recherche Scientifique qui a mis à notre disposition une thermobalance de CHEVENARD. Nous profitons de l'occasion qui nous est fournie aujourd'hui pour l'en remercier publiquement.

La courbe de déshydratation du phosphate monocalcique pur, chauffé en température linéairement croissante, à raison de 150° par heure, est représentée dans le diagramme I.

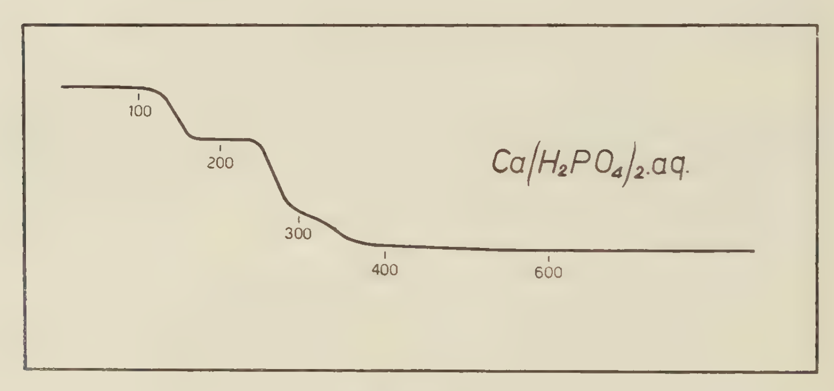
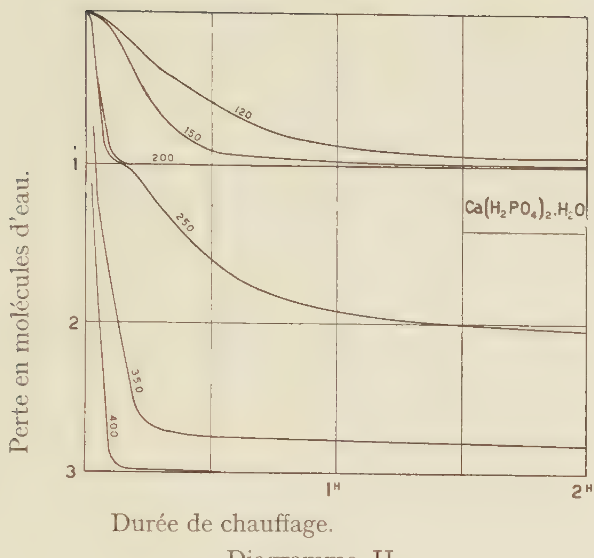



Diagramme I.

Le sel reste stable jusque 110°. A 175° l'eau de cristallisation est disparue : le phosphate anhydre est obtenu, et reste stable jusque 200°. A 230° l'eau de constitution est progressivement éliminée : le départ de la dernière molécule est plus difficile et il faut atteindre la température de 550° pour obtenir le métaphosphate. Ces résultats concordent bien avec ceux de l'analyse thermique différentielle de HILL.

Les courbes de déshydratation en température constante traduisent leur filiation avec la courbe de thermolyse comme on peut le voir dans le diagramme II.




Durée de chauffage.

Diagramme II.

Fait non conforme aux données de la littérature, nous observons la formation de phosphate anhydre jusque 200°, alors que la plupart des auteurs avancent qu'à 150° le phosphate monocalcique commence à se transformer en pyrophosphate acide et que ce dernier se décompose à 180°.

Parmi les derniers progrès de l'industrie et de l'utilisation des engrais, on signale la granulation. Peut-on penser que cette opération qui implique une phase de séchage, puisse avoir une répercussion sur les caractères de solubilité des phosphates de calcium qui constituent l'un, et non le moindre, des constituants.

Reprenons les échantillons qui ont subi un chauffage en température constante et soumettons-les aux essais de solubilité : 5 grammes de matière sont agités dans 1 litre d'eau. L'analyse de la solution claire nous fournit des chiffres qui sont rapportés en fonction du résultat total théorique.

| | | $P_2O_5$ soluble / $P_2O_5$ total après un chauffage de | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1/2 h. | 1 h. | 2 h. |
| Phosphate monocalcique pur | | | | |
| chauffage à | 120° | 100 % | 100 | 100 |
| | 150° | 96,4 | 97,3 | 94,8 |
| | 200° | 98,– | 99,– | – |
| | 250° | 64,6 | 63,2 | – |
| | 300° | 42,1 | 34,8 | 25,2 |
| | 350° | 13,8 | – | – |
| | 650° | 6,7 | | |

Aussi longtemps que la molécule de phosphate monocalcique n'est pas attaquée, elle reste soluble dans l'eau. Au-dessus de 200°, elle se transforme peu à peu en métaphosphate dont la solubilité est faible.

Et pourtant, on a constaté que les métaphosphates exercent une influence bienfaisante sur la végétation. Mc INTIRE aux U. S. A. a montré que l'action des ions $PO_3^-$, par les complexes du sol à pH et concentrations identiques, deviendrait précieuse lorsqu'un engrais à action lente et progressive est nécessaire comme c'est le cas dans les sols où on craint les effets d'un ruissellement intensif ou bien d'une fixation irréversible rapide.

L'étude du phosphate bicalcique est plus attirante et attachante : les discussions sont plus mouvementées, les diverses appréciations, voire les contradictions, causent un réel plaisir au chercheur qui désire comparer ses observations à celles de ses prédécesseurs.

Les modes de préparation du phosphate bicalcique sont assez diversifiées en laboratoires ; dans l'industrie, on neutralise lentement et incomplètement une liqueur d'acide phosphorique par un lait de chaux dilué.

Le phosphate obtenu à l'état pur est cristallin, peu soluble dans l'eau, entièrement dissous par les acides forts et les liqueurs suffisamment concentrées de citrate d'ammoniaque neutre ou ammoniacal.

Le mécanisme de cette dernière mise en solution n'est pas simple. SANFOURCHE et GRAIRE ont montré qu'il se forme ordinairement du phosphate d'ammoniaque, mais qu'en présence d'une dose trop élevée de phosphate de calcium, il se forme par repos à froid, du phosphate ammoniaco-calcique insoluble. Le contrôle de la pureté des phosphates commerciaux est donc à effectuer suivant les prescriptions d'un mode opératoire strict et conventionnel.

La solubilité dans l'eau a été étudiée de nombreuses façons. CAMERON et SEIDELL ont préparé des macérations de quantités croissantes de phosphate dans un volume constant d'eau et constaté une élévation continue de leurs résultats.

Nous pensons que ces variations peuvent être attribuées à l'action des phénomènes d'hydrolyse signalés par SANFOURCHE dans lesquels le phosphate bicalcique en présence d'eau donne naissance à un mélange de phosphate monocalcique plus soluble et de phosphate tricalcique moins soluble.

En présence de phosphate hydraté, en quantité telle que la saturation soit atteinte, les résultats de mise en solution dans l'eau distillée fraîchement bouillie varient légèrement suivant les échantillons et fluctuent de 60 à 80 mg de $P_2O_5$ par litre. La solubilité du phosphate anhydre est plus faible et se situe à 40 mg de $P_2O_5$ par litre.

Chauffé progressivement à la vitesse de 150° heure, le phosphate bicalcique hydraté se transforme en pyrophosphate. Le mécanisme de cette transformation est expliqué par l'examen du diagramme III.

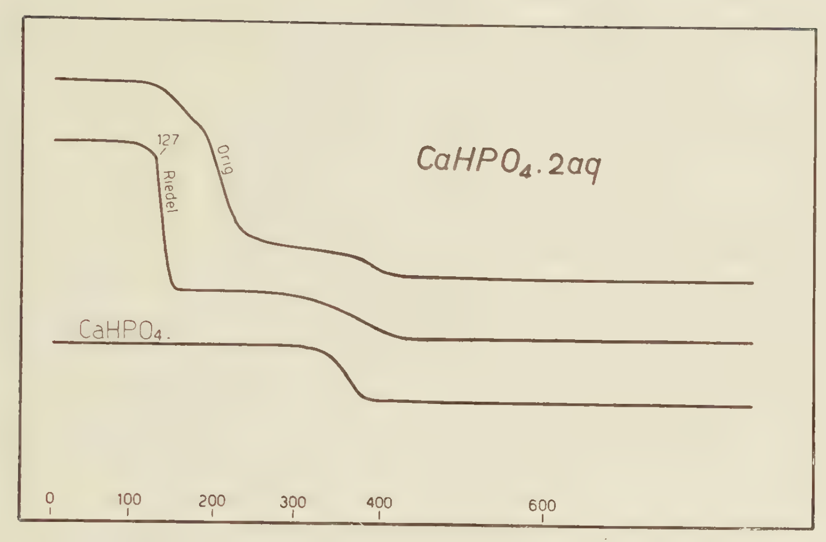



Diagramme III.

La plupart des variétés de phosphate bicalcique présentent les mêmes caractéristiques (courbe 1). C'est le genre de courbe qu'obtient BOULLE à l'École nationale des Mines à Paris.

Le phosphate bicalcique se déshydrate lentement d'abord, sans former un composé bien défini, puis la perte de poids s'accélère et se ralentit lorsque la composition correspond sensiblement au phosphate anhydre. La transformation en pyrophosphate exige une température de 400°.

L'examen d'un phosphate anhydre confirme bien cette dernière donnée.

Mais nous avons dans nos collections un phosphate aberrant fabriqué par RIEDEL : sa décomposition s'accélère brusquement vers 130°. A 200° il fournit un phosphate sensiblement déshydraté dont la composition reste constante jusque 250°, température à laquelle commence la transformation en pyrophosphate.

Ces deux types de phosphate, étudiés en températures constantes, nous ont permis de dresser les diagrammes IV (page 10).

Les phosphates ordinaires résistent sensiblement bien jusque 200°. De 200° à 250° la déshydratation ne dépasse pas 2 molécules d'eau. L'eau de combinaison est ensuite progressivement attaquée. La transformation complète en pyrophosphate n'est aisément atteinte qu'à 400°.

La singularité du phosphate de Riedel réside dans la brutalité d'une décomposition d'autant plus rapidement amorcée que la température est élevée, cette température de décomposition n'est donc pas une constante physique. La cause du phénomène n'a pas été expliquée. Les examens aux rayons X (prof. BRASSEUR, Liège) et aux rayonnements infrarouges (prof. J. LECOMTE, Paris)

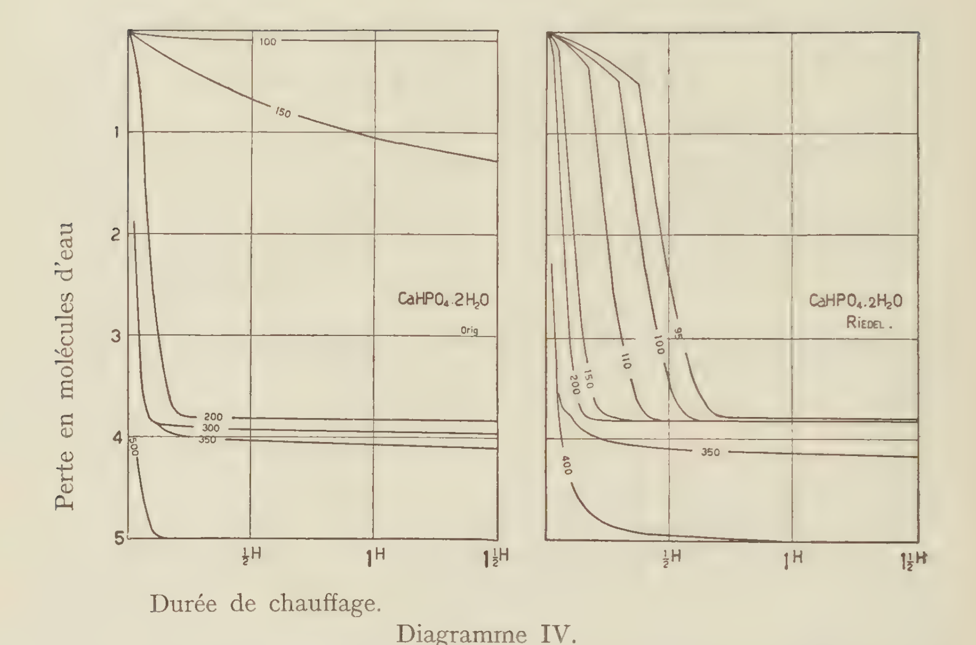



Diagramme IV.

n'ont pas décelé de particulières différences de structure entre les deux types de phosphate. L'étude des tensions de vapeur a naturellement donné les valeurs les plus élevées pour les produits trempés immédiatement après leur brusque variation de comportement (R. Coppens, Gembloux).

Mais en fait, l'intérêt des agronomes se porte plutôt vers d'éventuelles variations de solubilité.

La solubilité dans l'eau décroît au fur et à mesure de la déshydratation. Ceci s'explique puisque les solubilités se classent dans l'ordre suivant :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Phosphate hydraté orig. | 70 | mg. | /litre. |
| » » Riedel | 75 | » | » |
| anhydre | 37 | » | » |
| Pyrophosphate orig. | 9,4 | » | » |

La solubilité dans le citrate d'ammoniaque de Petermann, appliquée suivant les prescriptions des laboratoires d'analyses de l'État belge, nous donnait en conclusion :

1° La solubilité reste supérieure à 90 % aussi longtemps que la transformation ne dépasse pas le stade $CaHPO_4$ ; on constate cependant que la dissolution des phosphates partiellement déshydratés est plus lente.

2° La formation des pyrophosphates provoque une diminution progressive de la solubilité qui tombe à moins de 10 % si le chauffage atteint 350°. Résultats qui confirment ceux que Hill a émis en utilisant le citrate d'ammoniaque neutre comme dissolvant.

Quel intérêt pratique, car c'est en fin de compte ce qui dirige l'économie d'un procédé, pouvons-nous retirer de cette étude de thermolyse ?

Faut-il craindre que le chauffage réalisé au cours d'une fabrication de granulés dont divers motifs recommandent aujourd'hui l'usage, puisse provoquer une perte de valeur fertilisante des constituants phosphatés ? Des essais culturaux ne l'ont pas démontré.

Faut-il craindre une modification des caractères de solubilité infirmant la relation admise depuis les démonstrations de Petermann à Gembloux, entre les caractères de solubilité et la valeur culturale ? Faut-il craindre qu'une diminution de solubilité sans modification de valeur culturale ne se traduise par une diminution de valeur vénale des engrais manufacturés ?

L'étude chimique a démontré que ces craintes sont superflues pour autant que la température des granulés ne dépasse pas les valeurs que nous avons fixées, à savoir :

Pour les scories : sans limite.
Pour le phosphate monocalcique : 200°.
Pour le phosphate bicalcique : 200°.

Chers étudiants,

Peut-être mes paroles ont-elles créé dans les esprits des plus jeunes d'entre vous des sentiments d'appréhension. Sont-ce toutes ces choses qu'il va falloir apprendre et retenir ? Quelle surcharge allons-nous donc subir ?

J'ai lieu d'être convaincu que ce qu'on appelle la surcharge des programmes, qu'on dit générale, n'est pas uniquement un effet de l'avancement des sciences ; c'est aussi le fait des professeurs.

Dans l'enseignement supérieur, ceux-ci doivent savoir choisir et exposer, ce qui veut dire ne montrer la science faite et ses méthodes que pour montrer celle qui est à faire. Ils doivent aussi former les esprits et les cœurs, ce qui dépend de leur enthousiasme et aussi de la réceptivité de leurs élèves.

Point n'est donc besoin de tout dire. Point n'est besoin d'informer sur tous les détails ; la documentation dirigée, les lectures personnelles conseillées et contrôlées, le travail pratique surveillé, raisonné et commenté, voilà les bases d'une formation spécialisée au cours d'études qui ne le sont pas.

L'exposé que je viens de vous présenter n'est donc pas un cours, il tend à vous démontrer que des sujets qu'on pourrait croire épuisés peuvent encore donner lieu à des études originales, à des discussions attachantes, à des rectifications d'erreurs qui traînent parfois de livres en livres par l'intermédiaire d'auteurs qui se recopient sans discernement et sans expérience ; il tend à vous montrer aussi que cette bonne vieille chimie minérale peut encore satisfaire la curiosité de nombreux chercheurs.

Dans quelque domaine que ce soit, trouvez donc parmi les sciences qui vous entourent un sujet qui deviendra l'objet de vos pensées. Ne craignez pas qu'on

dise que vous entretenez quelque marotte ; un jour ou l'autre, vous en tirerez profit.

* * *

Il me reste enfin un agréable devoir à remplir : remercier tous ceux qui, à des titres divers, m'ont prêté quelque assistance dans la préparation de l'exposé de ce discours.

Je m'adresse,

A ceux qui ont très aimablement accepté d'examiner certains des produits que nous avons préparés : Messieurs les Professeurs Henri Brasseur de Liège, Jean Lecomte de Paris, Robert Coppens de Gembloux ;

A ceux qui nous procurent les écrits de la Science, nos bibliothécaires, MM. Crabus et Jaumin ;

A ceux qui m'ont fourni par leur travail l'essentiel des résultats qui vous ont été communiqués, mes élèves MM. Léon Nys, Freddy Choquet, René Kirckman et Arnold Cipers ;

A ceux qui se sont chargés des obscurs travaux de manipulation au laboratoire : MM. Pol Defer, Léo Lallemand, madame Gaillard ;

Aux membres des services administratifs de notre Institut qui ont assuré la réussite de nos projections : MM. Albert Dantinne et Godefroid Lecrenier.

Et aussi à vous-mêmes, Mesdames et Messieurs, qui m'avez écouté si longtemps avec tant d'attention bienveillante et, j'ajoute volontiers, de courage persévérant.

# État actuel des connaissances relatives aux maladies à virus des plantes (*)

par

G. Roland,
*Station de Phytopathologie de l'État, Gembloux.*

## I. — Principales étapes de la phytovirologie.

### a) *La transmission des virus.*

On a pris l'habitude de ranger dans le chapitre des viroses végétales les maladies infectieuses qui ne sont pas occasionnées par un microbe visible au microscope ordinaire. C'est pourquoi, la transmissibilité, caractéristique commune à tous les virus, est également celle qui est la plus exploitée au cours de leur étude. Aussi aborderons-nous notre sujet en rappelant rapidement les premières découvertes relatives aux techniques de transmission des virus.

Il semble que la première mention d'une modification de l'aspect d'un végétal, attribuée actuellement à un virus, ait été faite par Clusius en 1576, lorsqu'il décrivit la panachure infectieuse des fleurs de la tulipe. Déjà en 1637, on savait que l'on pouvait transmettre cette panachure en sectionnant un bulbe à fleur panachée et un bulbe à fleur unie et en accolant une partie du premier bulbe à une du second de façon à mettre en contact les deux blessures. Cette technique était utilisée alors pour produire des fleurs panachées qui étaient fortement appréciées. D'autre part, en 1688, Ray émettait l'hypothèse que cette panachure était un état pathologique.

Ceci nous montre que l'existence des virus n'est pas récente, bien que la phytovirologie n'ait commencé à prendre un certain développement que depuis un peu plus d'un quart de siècle (1).

La première transmission par jus d'un virus a été faite, semble-t-il, par A. Mayer en 1882 ; il s'agissait du virus de la mosaïque du tabac. Quelques années après, en 1892, D. Ivanowski montrait la filtrabilité de ce virus.

Enfin la première transmission d'un virus par insectes est due à N. Takami qui a signalé en 1901 la transmissibilité du rabougrissement du riz par le jasside *Nephotettix apicalis*.

(*) Étude subsidiée par l'I. R. S. I. A.

(1) Selon J. Dufrenoy, Jean Fouquet aurait peint une tulipe panachée virosée dans une miniature faite vers 1457.

Si, au début du XX^e^ siècle, les connaissances phytovirologiques étaient pratiquement nulles, on avait déjà réussi la transmission de virus à l'aide des trois types de techniques couramment utilisées depuis dans les laboratoires, à savoir : la transmission par greffe, la transmission par jus et la transmisson par insectes.

Comme autres moyens de propagation des virus, il faut citer la transmission par les organes de multiplication végétative des plantes, par la graine, par le sol et par le contact entre plantes malades et plantes saines. Si le premier de ces moyens est assez général, les trois autres ne s'observent que pour un nombre assez restreint de virus.

### b) *L'identification sérologique des virus.*

Chronologiquement, la découverte suivante, qui a eu une grande répercussion en phytovirologie, est celle de leur pouvoir antigénique par Dvorak en 1927. Cette propriété a été surtout mise en évidence par M^me^ Purdy-Beale, qui a montré que le lapin, ayant reçu des injections de jus de tabac mosaïqué, produit un sérum qui précipite avec le jus de plantes diverses, infectées par ce virus.

Depuis lors, nos connaissances sur les immunsérums préparés à partir de différents virus se sont sensiblement accrues grâce aux travaux de nombreux chercheurs.

### c) *La purification des virus.*

Le travail qui a eu le plus grand retentissement sur la notion de « virus » est certes celui de W. M. Stanley qui, en 1935, obtint le virus de la mosaïque du tabac sous forme de paracristaux à la suite de précipitations répétées avec le sulfate d'ammonium.

Cette technique de purification par salage a été largement utilisée par la plupart des virologues et principalement par Bawden, Pirie et Markham en Angleterre.

Ultérieurement, des techniques moins brutales et plus rapides ont permis de purifier des virus moins résistants que ceux que l'on avait purifiés jusqu'alors. Ces techniques, qui font usage d'appareils spéciaux, ont recours à l'ultra-centrifugation fractionnée, à la chromatographie et à l'électrophorèse.

La méthode par ultra-centrifugation utilise des appareils qui permettent d'obtenir des vitesses de l'ordre de 30 à 50.000 tours par minute. Le sédiment recueilli, après centrifugation du jus virulent à grande vitesse, est mis en suspension dans de l'eau ou dans une solution tampon, puis on centrifuge à faible vitesse pour éliminer les parties insolubles. Après quoi, on répète ces diverses opérations jusqu'à élimination totale des impuretés. En 1954, H. W. J. Ragetli et J. P. H. van der Want ont obtenu le virus de la mosaïque du tabac dans un état assez pur en le faisant migrer sur papier, selon une technique couramment utilisée en chromatographie.

Disons enfin que l'on tend actuellement à mettre au point des méthodes de purification basées sur les principes de l'électrophorèse, notamment l'électrophorèse de zone, qui pourraient convenir plus particulièrement à la séparation des virus peu stables. Tout récemment, Brakke a encore amélioré cette technique en y introduisant l'utilisation de colonnes de saccharose de différentes densités, qui permettent d'obtenir, dans certaines conditions de pH, des virus extrêmement purs.

d) *La composition des virus.*

Après un travail de M. Schlesinger sur un bactériophage, publié en 1933, c'est à Bawden et à ses collaborateurs que l'on doit la première étude importante sur la composition des virus des plantes. En effet, ces auteurs ont signalé, en 1936, que le virus de la mosaïque du tabac présentait les caractéristiques d'une nucléoprotéine. Cette notion a été précisée et généralisée depuis à la suite d'un grand nombre de travaux dont nous ferons la synthèse plus loin.

e) *L'examen des particules-virus.*

Le microscope ordinaire ne permettant pas d'observer les virus des plantes, il a fallu attendre la mise au point d'un moyen d'observation plus puissant pour que l'on puisse avoir une image de leurs particules. Celle-ci a été obtenue, pour la première fois, par Kausche et ses collaborateurs en 1939. Ces derniers, utilisant un microscope électronique, ont pu photographier des particules du virus de la mosaïque du tabac, qui sont apparues sous forme de bâtonnets, parfois filamenteux, d'environ 15 mμ d'épaisseur.

Ainsi que nous le verrons plus loin, on a pu, jusqu'à présent, grâce à cette nouvelle technique, photographier un certain nombre de virus, ce qui a permis à des auteurs de proposer un début de classification de ces agents pathogènes sur la base de leurs caractéristiques morphologiques.

Actuellement, grâce à l'ombrage ou métallisation des préparations de jus virulents clarifiés, on peut évaluer l'épaisseur des particules ; mais cette technique masque souvent la structure interne de ces dernières. Quoi qu'il en soit, on parvient à identifier certaines viroses au moyen du microscope électronique, en opérant à des grossissements voisins de 30.000.

## II. — Bases de la virologie végétale.

a) *Identification des virus.*

La question qui se pose le plus fréquemment au virologue est celle de l'identification des virus. Celle-ci se base en général sur des propriétés biologiques et sur certaines propriétés chimiques et physiques de ces agents pathogènes.

Comme principales propriétés biologiques les plus couramment utilisées dans l'identification des virus, il faut signaler leur mode de transmission, les symptômes qu'ils occasionnent sur des plantes-tests, leur pouvoir prémunisant et, pour certains virus, leur réaction antigénique.

La propriété chimique, dont on tient le plus couramment compte, est la plus ou moins grande résistance des virus à la chaleur, c'est-à-dire leur thermostabilité. Lorsque les possibilités du laboratoire le permettent, on examine parfois une préparation purifiée du virus au microscope électronique afin de déterminer la forme et les dimensions des particules.

Passons rapidement en revue ces différentes propriétés.

1) *Mode de transmission expérimentale des virus.*

A de rares exceptions près, tous les virus sont transmissibles *par greffage* d'un greffon virosé sur un sujet sain. Ajoutons immédiatement que, dans certains cas, cette transmission ne réussit que pour autant que le greffon et le sujet appartiennent à la même variété.

En général, c'est plutôt aux modes de transmission par jus ou par insectes que l'on s'adresse pour l'identification des virus.

Un assez grand nombre de virus sont transmissibles *par jus*. Dans ce cas, la technique utilisée consiste à extraire par broyage le jus d'une plante malade, on ajoute un peu d'abrasif en poudre fine à ce jus, on trempe un doigt dans ce mélange et on frotte délicatement les feuilles de la plante à inoculer avec le doigt humide. On enlève sous eau courante l'excès de jus se trouvant à la surface des feuilles ainsi traitées. Entre deux opérations d'inoculation, le matériel employé et les mains sont soigneusement nettoyés. Dans certains cas, on favorise l'infection en ombrageant les plantes pendant un ou deux jours avant de les inoculer.

Il va sans dire que tous les travaux de virologie se font en général sur des plantes saines cultivées à l'abri des insectes et en veillant à ce qu'elles ne soient pas contaminées par les doigts des fumeurs qui sont souvent porteurs du virus de la mosaïque du tabac. On inocule, le plus souvent, les plantes dans leur jeune âge, parce qu'à ce moment elles sont généralement plus réceptives pour les virus.

De nombreux virus sont transmis *par des insectes ;* les espèces vectrices les plus nombreuses appartiennent au groupe des pucerons, mais on trouve également des vecteurs parmi les jassides, les aleurodes, les thrips, etc. Nous n'envisagerons ici que la transmission par pucerons qui est la plus communément utilisée.

De nombreuses espèces sont susceptibles de transmettre un ou plusieurs virus, mais la plus active est certes l'espèce *Myzus persicae* qui hiverne principalement à l'état d'œuf sur le pêcher et qui peut vivre aux dépens d'une grande quantité de plantes les plus diverses pendant la bonne saison.

Très généralement les insectes ne sont pas virulifères à leur naissance, même

si la femelle, dont ils proviennent, était contaminée. Un insecte doit donc presque toujours, se nourrir aux dépens d'une plante virosée pour devenir virulifère.

Les insectes, utilisés pour les essais de transmission, sont élevés sur plantes saines. En vue des inoculations, les pucerons sont placés d'abord en boîte de Pétri, où on les fait jeûner pendant 2 heures ou plus, puis on les met sur la plante malade où on les laisse se nourrir pendant un certain temps, variable suivant le virus en cause comme nous allons le voir. Après quoi on les transporte sur les plantes à inoculer où ils demeurent généralement pendant un ou plusieurs jours ; puis on tue les insectes à l'aide d'une pulvérisation ou d'une fumigation insecticide. Les transferts de pucerons d'une plante à l'autre se font au moyen d'un fin pinceau humidifié.

Les temps de piqûres des insectes sur les plantes ont une grande importance pour la réussite des inoculations. En effet, les virus, transmissibles par insectes, se distinguent en virus persistants et virus non persistants. Dans le cas d'un virus *persistant*, l'insecte, après s'être nourri sur une plante virosée, peut transmettre le virus pendant longtemps, souvent jusqu'à sa mort, aux plantes susceptibles, quel que soit le nombre de plantes qu'il visite par la suite. Toutefois, il se présente généralement au début une période d'incubation dans l'insecte au cours de laquelle ce dernier ne peut inoculer le virus qu'il a prélevé. Lorsque cette période d'incubation est passée, l'insecte est capable d'inoculer le virus un grand nombre de fois, comme nous venons de le voir, sans pouvoir cependant contaminer directement sa propre descendance, sauf dans des cas extrêmement rares de transmission par des jassides. Ajoutons enfin que la piqûre sur la plante-source peut en général se prolonger sans nuire au pouvoir virulifère ultérieur de l'insecte. Il a été démontré que certains virus persistants peuvent se multiplier dans leurs insectes vecteurs.

Dans le cas d'un virus *non persistant*, la durée de la piqûre sur la source ne peut souvent dépasser 2 minutes ; parfois cette durée ne doit être que de quelques secondes. En prolongeant la piqûre de préhension du virus, on risque fort de ne pas avoir d'infection. Il en va de même si l'on fait jeûner l'insecte trop longtemps après son passage sur la plante-source ou s'il passe un certain temps sur une plante qui ne peut servir d'hôte au virus avant d'être placé sur une plante-test.

Selon le virus à transmettre et les espèces végétales utilisées, on peut être amené à employer telle espèce de pucerons ou de jassides plutôt que toute autre. Jusqu'à présent on compte environ 130 espèces d'aphides et 105 espèces de cicadelles susceptibles de transmettre un ou plusieurs virus. En outre, 71 espèces appartenant à d'autres groupes d'insectes, ainsi que 2 acariens et une limace peuvent également être vecteurs de virus.

2) *Réaction des plantes-tests.*

Pour l'identification des virus on se sert d'espèces végétales réagissant autant que possible spécifiquement vis-à-vis d'un ou plusieurs virus ; de celles-ci le

tabac est certainement la plus employée dans les laboratoires de phytovirologie. Parfois, on utilise certaines variétés qui permettent de distinguer soit des virus déterminés, soit des variantes d'un même virus (1). Fréquemment, on recourt aussi au caractère d'immunité présenté par certaines plantes à l'égard d'un ou plusieurs virus connus.

Les réactions des plantes-tests sensibles se présentent sous l'aspect soit de symptômes localisés aux feuilles inoculées, soit de symptômes généralisés apparaissant sur tout le feuillage ou sur les feuilles de certains étages seulement. Dans quelques cas, l'examen microscopique des tissus de la plante infectée laisse voir des modifications anatomiques caractéristiques.

3) *Pouvoir prémunisant et variantes de virus.*

On observe fréquemment que plusieurs souches d'un même virus peuvent, dans des conditions rigoureusement identiques, occasionner des symptômes très différents sur une même variété de plante, allant de l'absence de symptômes (tolérance) jusqu'à la mort du végétal (hypersensibilité). On dit alors que l'on a affaire à des *variantes* différentes d'un même virus. Lorsqu'une plante est infectée par une variante, elle est, en général, protégée contre les autres variantes du même virus mais non contre les variantes d'autres virus. Ce phénomène de *prémunition* est souvent utilisé dans les travaux d'identification. Dans ce cas, on inocule la plante-test avec la souche de virus la moins virulente et, quelques jours après, on l'inocule à nouveau avec la souche la plus virulente (2). Si l'on a affaire à des souches contenant uniquement des variantes d'un même virus, les symptômes observés, à la suite de la première inoculation, ne s'aggravent généralement pas après la seconde. Si les symptômes augmentent après la seconde inoculation, on peut en conclure le plus souvent que la deuxième souche contenait un virus différent de celui existant dans la première. Il semble également qu'il n'y a prémunition complète que lorsque l'on a affaire à des variantes ayant des relations étroites entre elles, notamment du point de vue sérologique.

4) *Méthode sérologique.*

Pour l'identification des virus, on fait de plus en plus usage du pouvoir antigénique spécifique présenté par un certain nombre d'entre eux. L'animal couramment employé pour la préparation des sérums est le lapin ; au laboratoire de Lisse (Hollande) on utilise aussi, dans certains cas, le cheval. Les injections sont pratiquées soit à l'aide de jus de plantes virosées, plus ou moins clarifié, soit au moyen de suspensions purifiées et concentrées de virus. Le

---

(1) Voir au paragraphe suivant la définition d'une *variante*.

(2) Par « souche » il faut entendre, ici, le virus se trouvant dans une plante infectée ; une souche peut être constituée d'une ou plusieurs variantes d'un même virus.

sérum obtenu reste très longtemps actif pour autant qu'il soit conservé en présence d'un antiseptique ou à l'état sec en poudre ou sur papier filtre. Mis en présence d'un jus de plante, un sérum actif ne donne un précipité que si la plante est infectée par le virus qui a servi à préparer l'immunsérum. Dans tous les autres cas, il n'y a pas de réaction visible. En général, pour obtenir cette dernière, il suffit d'une goutte de jus et d'une autre de sérum intimement mélangées et observées au microscope, éventuellement après quelques minutes d'incubation à l'étuve.

Cette technique d'identification est la plus rapide, elle ne demande que quelques minutes mais elle n'est malheureusement pas d'un emploi très général. Seuls une vingtaine de virus sont décelables par voie sérologique, quelques-uns d'entre eux dans certaines conditions seulement. D'autre part, la sensibilité de cette méthode n'est pas toujours suffisante.

5) *Thermostabilité des virus.*

Au cours des travaux d'identification des virus transmissibles par jus, on détermine habituellement leur température d'inactivation en tenant compte du pH du milieu. Cette détermination se fait en chauffant le jus virulent au bain-marie à diverses températures maintenues chacune pendant 10 minutes. Après chaque chauffage, le jus refroidi est inoculé à des plantes-tests.

La résistance des virus au chauffage est assez différente d'un virus à l'autre. Tandis que certains virus peuvent être inactivés à 42° C (*ex.:* le virus des taches bronzées de la tomate), d'autres sont parfois encore actifs après chauffage à 90° C (*ex.:* le virus de la mosaïque du tabac). Ajoutons cependant que la température d'inactivation n'est pas la même pour toutes les souches d'un même virus, mais qu'elle oscille entre des limites qui permettent néanmoins de faire une certaine classification des virus en fonction de leur degré de thermostabilité.

b) *Biochimie des virus.*

Au cours de ces dix dernières années, la composition des particules-virus a retenu l'attention d'un grand nombre de biochimistes, souvent attirés par ces éléments mystérieux qui semblent se situer entre les êtres vivants et les corps inanimés.

A la suite de nombreuses recherches poursuivies sur des virus qui s'y prêtent particulièrement, on considère actuellement que la particule-virus est constituée d'une gaine de protéine entourant un centre composé d'acide nucléique, du type ribonucléique dans le cas de virus s'attaquant aux plantes (phytovirus).

Il semble que les différences fondamentales entre les virus sont en rapport avec des différences dans les teneurs en bases puriques (adénine et guanine) et pyrimidiques (cytosine et uracile) de leur acide nucléique. Par contre, les

variantes d'un même virus ne se différencieraient que par les acides aminés entrant dans la constitution de leur partie protéique.

En ce qui concerne le rôle joué par les deux constituants de la particule-virus, on considère que l'acide nucléique intervient d'une façon prépondérante dans les réactions de reproduction du virus, tandis que des éléments protéiques dépendraient les propriétés antigéniques et immunologiques du virus, ainsi que la stabilité et la protection de l'acide nucléique. La virulence du virus serait sous la double dépendance de son acide nucléique et de sa partie protéique.

### c) *Morphologie des virus.*

Grâce au microscope électronique, on peut avoir, ainsi que nous l'avons vu plus haut, une notion assez précise des dimensions et de la forme des particules de virus observées dans certaines conditions opératoires. Parfois les images obtenues ne le sont qu'après des manipulations assez laborieuses, ce qui autorise l'émission de certains doutes quant à la relation qui existerait entre l'aspect des particules vues au microscope électronique et celui qu'elles ont en réalité dans la cellule infectée non modifiée par des techniques de laboratoire. Quoi qu'il en soit, les virus, que l'on a pu, jusqu'à présent, observer à l'aide de cette méthode, ont présenté des particules ayant sensiblement toujours les mêmes caractéristiques principales.

Ceci a permis à divers auteurs d'envisager une classification des virus observables en deux groupes, qui sont :

1. Les virus filamenteux ou en bâtonnets.
2. Les virus sphériques.

Comme son nom l'indique, le *premier groupe* comprend des virus dont les particules sont de forme allongée parfois plus ou moins flexueuse et dont l'épaisseur est comprise entre 10 et 30 mµ environ. Quant à leur longueur elle dépasse, en général, largement les 100 mµ et semble pouvoir atteindre dans certains cas le micron. A ce groupe appartiennent notamment les virus A, S, X et Y de la pomme de terre, le virus de la mosaïque du tabac, les virus de la jaunisse et de la mosaïque de la betterave, les virus des mosaïques du haricot, etc. (1).

Dans le *second groupe*, on réunit les virus ne présentant que des particules plus ou moins sphériques, dont le diamètre oscille aux environs de 15 à 30 mµ. Citons comme pouvant faire partie de ce groupe : les virus de la nécrose du tabac, du « bushy stunt » de la tomate, de la mosaïque jaune du navet, le virus de la mosaïque de la luzerne, etc.

(1) Mentionnons, à titre apparemment d'exception, le virus du « yellow-dwarf » de la pomme de terre dont les particules, en forme de gros bâtonnets, mesureraient environ 200 mµ de long sur 50 mµ de large.

Signalons ici que l'on estime à $6 \times 10^7$ le nombre des particules de virus se trouvant dans une cellule d'un poil de tabac infecté de mosaïque, soit 250 par $\mu^3$.

d) *Multiplication des virus.*

Le mécanisme de la multiplication des virus des plantes a retenu l'attention de quelques chercheurs au cours de ces dernières années. Plusieurs hypothèses émises sur ce sujet ont été faites en s'appuyant sur des observations recueillies à la suite d'expériences poursuivies non seulement sur des phytovirus, mais aussi sur des bactériophages. Envisager ici les travaux relatifs aux bactériophages serait évidemment sortir des limites de notre sujet.

Comme les opinions sur la multiplication des phytovirus sont toutes récentes et parfois contradictoires, nous nous contenterons de donner un bref aperçu des conceptions qui nous paraissent les plus intéressantes tout en laissant l'entière responsabilité à leurs auteurs. Le seul point qui semble bien établi actuellement est que les virus ne peuvent se multiplier sur des milieux artificiels.

Pour F. C. Bawden et N. W. Pirie, il n'y a pas lieu de faire de distinction entre la multiplication des virus et la synthèse des autres protéines.

D. J. Bauer croit qu'au moment de sa pénétration dans la cellule-hôte, la particule-virus se scinde en un grand nombre de petits éléments qui diffusent à travers la cellule et vont influencer les centres de synthèse soit les mitochondries, soit le noyau, soit peut-être les deux à la fois. Sous l'influence de ces petits éléments, il se produirait de la nouvelle substance-virus.

Ainsi que nous l'avons vu précédemment, l'acide nucléique de la particule-virus joue un rôle très important dans le processus de multiplication de cette dernière.

A la suite de différents travaux, notamment ceux de R. Jeener et de ses collaborateurs, il semble qu'au cours d'une phase initiale de l'infection, appelée « phase d'activation », l'acide ribonucléique soit expulsé de sa gaine protéique. Les éléments protéiques et nucléiques seraient ensuite synthétisés séparément dans la cellule-hôte et leur réunion ultérieure aurait comme résultat la constitution définitive des particules-virus au cours d'une phase dite de « maturation du virus ». La phase d'activation, dont nous avons parlé ci-dessus, apparemment indispensable à la multiplication du virus, ne se ferait qu'au contact des cellules épidermiques, éventuellement blessées, pour ce qui est des virus transmissibles mécaniquement. Dans le cas de virus transmissibles par insectes et non par jus, J. Semal (1) a émis l'hypothèse selon laquelle la phase d'activation serait réalisée dans l'insecte vecteur ou dans les cellules profondes aux dépens desquelles il se nourrit.

---

(1) Communication faite à l'Association pour les Études et Recherches de Zoologie appliquée et de Phytopathologie le 13 juin 1956, *Parasitica*, 1956, nº 4.

Les conditions dans lesquelles sont multipliés les virus jouent un grand rôle dans l'apparition de variantes, dont il a déjà été question précédemment. L'attention est fortement attirée actuellement sur les variations subies par certains virus lorsqu'ils sont multipliés dans des plantes-hôtes différentes. Déjà, en 1925, Carsner avait constaté une atténuation de la virulence du virus du curly-top de la betterave lorsqu'il était multiplié dans des plantes de *Chenopodium murale*. Par contre, en 1932, Lackey montrait qu'il était possible de restaurer la virulence de ce virus en l'inoculant à *Stellaria media*. Récemment on a observé que le passage d'un virus d'une espèce-hôte à une autre espèce-hôte pouvait modifier complètement ses possibilités d'être ou non transmissible par insectes. Ces possibilités sont vraisemblablement liées à la structure chimique de la particule-virus, qui dépend elle-même, dans une certaine mesure, du milieu végétal où elle est produite. Les méthodes biochimiques, dont l'utilisation se généralise de plus en plus en virologie, sont susceptibles de nous ouvrir de nouveaux horizons sur ce sujet dans un proche avenir.

Ajoutons qu'en général les virus se multiplient plus abondamment dans les feuilles que dans les tiges et que d'autre part la concentration en virus dans le feuillage décroît souvent lorsque la vitalité de ce dernier approche de sa fin.

### e) *Nomenclature des virus.*

Il n'existe actuellement aucune nomenclature reconnue par tous les virologues. Selon leurs convenances personnelles, ces derniers utilisent l'un ou l'autre système proposé par certains auteurs, ce qui complique beaucoup les recherches bibliographiques.

Voici rapidement esquissés les types de nomenclature les plus couramment rencontrés dans les articles scientifiques de phytovirologie :

1) *La nomenclature anglaise* (*ex.: Tobacco mosaic virus)* (1) qui est utilisée par un grand nombre d'auteurs anglo-saxons et tenue à jour par l'Imperial Mycological Institute de Kew (Surrey, Angleterre). Ce système ne fait qu'employer des noms anglais, parfois purement régionaux ; il pose des problèmes linguistiques qui viennent inutilement compliquer la question.

2) *Le système numérique de K. M. Smith* (*ex.: Nicotiana virus* 1) qui utilise le nom latin générique de la première plante-hôte du virus suivi du mot virus et du numéro d'ordre de l'agent pathogène. Ce système, qui présente l'avantage de la facilité, a été souvent critiqué parce que le numéro d'ordre n'évoque aucune propriété virologique et exige donc un effort de mémoire que certains considèrent comme stérile.

3) *La nomenclature binaire latine* qui est inspirée de celle de Linné. La plus

---

(1) Les exemples donnés correspondent tous aux noms proposés pour désigner le virus de la mosaïque du tabac.

répandue est celle de F. O. Holmes *(ex. : Marmor tabaci)*. Outre qu'elle ne permet pas de se rendre compte immédiatement que l'on a affaire à un virus, elle présente aussi l'inconvénient d'utiliser comme nom générique la réaction de la plante-hôte ; or nous avons vu que cette réaction pouvait être très différente pour un même virus selon la variante en cause.

Certains auteurs dont le nombre semble aller en augmentant, utilisent un système binomial latin qui s'inspire de celui proposé par C. W. Bennett *(ex. : Nicotiana virus altathermus)*. Par ce système, on élimine le défaut que l'on impute à la nomenclature numérique de K. Smith en y remplaçant le numéro d'ordre par un mot latin qui traduit une caractéristique du virus (1).

Dans d'autres types de nomenclatures latines, le premier mot traduit une caractéristique du virus et le second correspond souvent au nom d'une de ses plantes-hôtes, ce qui peut donner par exemple : *Paracrystalis tabaci*.

Ajoutons enfin que le VIII[e] Congrès International de Botanique nous a chargé de constituer une commission spéciale de nomenclature des virus. Cette commission, qui comprend actuellement 10 virologues (un Allemand, deux Anglais, un Belge, un Brésilien, deux Américains, un Français et deux Hollandais), poursuit ses travaux depuis la fin de 1954 en vue de la constitution d'une liste de noms de phytovirus. Actuellement ces travaux sont très avancés ; leur résultat devra recevoir la sanction du prochain Congrès International de Botanique.

## III. — Méthodes de lutte contre les virus des plantes.

### a) *La sélection sanitaire.*

Des différentes méthodes de lutte recommandées contre les viroses végétales, la sélection sanitaire est de loin la plus utilisée. Elle s'applique principalement aux espèces végétales à reproduction végétative (plantes à bulbes ou à tubercules, arbres-étalons pour la greffe, etc.). Doivent être soumises également à cette technique les plantes propagées par graines et qui peuvent être infectées par un virus transmissible par la semence (2) (*ex. :* haricot, laitue, féverole, etc.).

En principe, la sélection sanitaire consiste à multiplier des plantes saines en les protégeant le plus possible contre les infections naturelles (par les insectes notamment). La méthode qui donne les meilleurs résultats consiste à choisir comme point de départ des plantes rigoureusement saines (sélection généalogique) que l'on multiplie par la suite dans des endroits et à des moments où

(1) Dans ce nouveau système, le mot « virus » est accolé au nom de genre de la plante-hôte *(ex. Nicotianavirus)*.

(2) On sait que peu de virus sont apparemment transmis d'une façon notable par la graine.

les infections naturelles sont le moins à redouter. On a soin d'éliminer, des champs de multiplication, les plantes qui viendraient à être contaminées par un virus, cette élimination devant se faire dès la détection de l'infection.

A titre d'exemple, voici résumées les principales mesures à prendre dans le cas de sélection sanitaire de la pomme de terre :

1) Choix de plantes saines, dans un champ de bon état sanitaire. Ce choix doit être non seulement basé sur l'aspect sain de la plante mais aussi sur des tests de laboratoire (sérologiques notamment).

Les tubercules produits par les plantes choisies seront récoltés aussi hâtivement que possible. Ces opérations peuvent être remplacées par l'achat de plants sains contrôlés de première qualité.

2) Conservation des tubercules à l'abri des pucerons (fumigations, ouvertures d'aération munies de fins tamis).

3) Prégermination des tubercules à l'abri des pucerons à la fin de l'hiver.

4) Plantation le plus tôt possible dans un endroit peu fréquenté par les pucerons ou visité tardivement par ces derniers. La parcelle choisie devra être très éloignée de toute culture de pommes de terre non sélectionnées.

5) Surveillance constante de l'état sanitaire des plantes en éliminant immédiatement celles dont l'aspect est douteux du point de vue sanitaire.

6) Récolte le plus tôt possible des tubercules ou arrachage complet des fanes, les tubercules, dans ce cas, étant laissés en terre pendant un certain nombre de jours.

Dans de nombreux pays, il existe un Service officiel chargé du contrôle de la multiplication des semences et des plants sélectionnés. Ces Services établissent des règles et des normes auxquelles doit satisfaire la sélection sanitaire de différentes productions de semences et de plants (1).

### b) *La sélection génétique.*

Depuis une vingtaine d'années, les Stations de Sélection des plantes travaillent de plus en plus à la production de variétés résistantes aux virus. Les variétés intéressantes à ce point de vue peuvent se classer dans l'une des quatre catégories suivantes :

1) *Variétés peu réceptives.* Ce sont des variétés qui ne se contaminent pas aisément par suite de la difficulté d'implantation du virus dans la plante.

2) *Variétés tolérantes.* Ces variétés peuvent être infectées par un virus sans montrer de symptômes (latence). Cette aptitude peut, dans certains cas, être modifiée sous l'influence de la température ou de l'alimentation, ce qui amène

(1) En Belgique, la sélection sanitaire est faite sous le contrôle de l'Office National des Débouchés Agricoles et Horticoles (O. N. D. A. H.), 5, quai de Willebroek, à Bruxelles.

l'apparition de symptômes plus ou moins graves sur la plante. Quoi qu'il en soit, les plantes présentant une infection latente auraient une production moindre que les plantes saines cultivées dans les mêmes conditions. La réduction de rendement est probablement en rapport avec la concentration du virus dans les plantes infectées, cette concentration pouvant être très différente selon les variétés d'une même espèce-hôte.

3) *Variétés hypersensibles.* Les variétés hypersensibles pour un virus réagissent à l'inoculation artificielle de ce virus par des nécroses particulières (nécrose locale, acronécrose). Par contre elles ne se laissent pas contaminer dans les conditions naturelles. Ajoutons toutefois que l'hypersensibilité d'une variété à un virus peut être très différente selon que celle-ci est cultivée à basse ou à haute température. A titre d'exemple, nous signalerons que, tout récemment, des hybrides de tabac, produits par la Station d'Amélioration des Plantes de Grande Culture à Gembloux, nous ont donné des réactions de sensibilité (mosaïque grave, infection généralisée) à 35° C et des réactions d'hypersensibilité (nécroses locales sur feuilles inoculées, infection limitée aux taches nécrotiques) à la température ordinaire de la serre (environ 22° C) ; les inoculations ayant été effectuées avec le virus de la mosaïque du tabac.

4) *Variétés immunes.* Il existe certains cas, assez rares semble-t-il, où au sein d'une espèce sensible on trouve une ou plusieurs variétés immunes pour un virus déterminé ; ces variétés immunes ne réagissent pas à l'inoculation avec ce virus et ce dernier n'infecte jamais les plantes appartenant à ces variétés. Il semble que parfois l'immunité ne soit qu'une hypersensibilité aiguë chez laquelle les nécroses locales, consécutives à l'inoculation artificielle, ne seraient visibles que dans certaines conditions de milieu (de température notamment).

L'hérédité des caractères de résistance est très différente suivant le virus ou l'espèce végétale en cause. Dans certains cas, il s'agit d'un gène unique dominant ou récessif, mais dans d'autres cas le caractère est polyfactoriel. Ces questions d'hérédité sont encore peu connues actuellement ; elles n'ont d'ailleurs été envisagées que pour un petit nombre de virus.

### c) *La lutte contre les insectes vecteurs.*

A première vue, pour protéger une plante contre les inoculations par les insectes il suffirait de détruire ces derniers avant qu'ils ne la contaminent. En pratique, cette méthode n'est pas facilement réalisable surtout en plein champ. En effet, pour atteindre ce but il faudrait que la plante à protéger soit constamment recouverte d'un insecticide à action foudroyante pour les insectes vecteurs.

Des essais que nous avons réalisés avec des esters thiophosphoriques et des insecticides systémiques nous ont montré que ces insecticides n'ont pas une action assez rapide sur les insectes vecteurs pour empêcher l'inoculation des plantes. Nous en avons conclu que les insecticides systémiques sont seulement

capables de réduire sensiblement la population aphidienne d'un champ et de ce fait de diminuer, dans une certaine mesure, les *inoculations secondaires* du virus dues à sa propagation d'une plante à l'autre dans le champ ; d'autre part, le traitement peut aussi réduire les dégâts occasionnés par la seule piqûre des insectes. Par contre, ces traitements ne protégeront pas les plantes contre les *inoculations primaires* dues à des pucerons virulifères migrateurs venant de foyers de virus non traités. A ce dernier point de vue, les traitements se montreront efficaces contre les colonies de pucerons qui se développent dans les champs qui constituent des foyers de virus (tels que les champs de porte-graines de betteraves, qui sont généralement de dangereux foyers du virus de la jaunisse). Les traitements, à l'aide d'insecticides à action rapide et rémanente, pourront, dans certains cas, réduire les inoculations primaires lorsqu'il s'agira d'un virus persistant transmis par des insectes qui se déplacent beaucoup, tels que les cicadelles (*ex.* : frisolée de la betterave et rabougrissement du framboisier).

Dans les conditions actuelles, et du seul point de vue de la transmission des virus, les applications d'insecticides systémiques ne se révèlent utiles *en principe* que sur les plantes infectées qui constituent des sources de virus pour les insectes vecteurs et en vue d'éviter, dans la mesure du possible, la transmission d'un virus à des plantes saines à partir de ces foyers infectieux. En pratique, ces foyers sont constitués tantôt par des cultures généralement virosées, tantôt par des plantes contaminées dispersées parmi des plantes saines. Dans ce dernier cas, il y a un intérêt évident à ne pas se limiter au traitement des seules plantes virosées mais à traiter toute la culture, afin que les plantes saines ne deviennent pas des foyers de pullulation de pucerons qui auraient tôt fait d'envahir ultérieurement les plantes virosées, puis de propager les virus aux alentours.

Pour être complet, ajoutons qu'un insecticide pourra empêcher la transmission entomologique d'un virus, lorsque ce dernier exigera un temps de piqûre prolongé sur la plante saine pour lui être inoculé. Dans ce cas, la plante sera protégée si l'insecticide tue ou paralyse l'insecte avant qu'il n'ait piqué suffisamment longtemps la plante pour lui inoculer le virus.

Peuvent se montrer également utiles, les applications d'insecticides sur les végétaux qui servent à l'hibernation ou à la grande multiplication de certains insectes vecteurs, comme par exemple les traitements ovicides pendant la période hivernale sur les pêchers en vue d'y détruire les œufs du puceron *Myzus persicae*.

En *serre*, enfin, il est possible d'empêcher toute transmission de virus par les insectes en pratiquant de fréquentes applications d'insecticides, sous forme de fumigations par exemple, et en munissant toutes les ouvertures d'aération d'un fin tamis métallique empêchant l'entrée des insectes.

### d) *Les mesures culturales.*

Diverses mesures culturales sont susceptibles de réduire l'attaque de certains virus dans des cas spéciaux déterminés. Ces mesures se rapportent principale-

ment à la date de semis ou de plantation, à la destruction des plantes adventices pouvant servir d'hôtes aux virus ou à leurs insectes vecteurs, à la rotation des cultures, à la fumure, à la préparation du sol, etc.

D'une façon générale, les inoculations de virus ont d'autant moins d'effet sur les plantes que ces dernières sont inoculées à un âge plus avancé. C'est pourquoi, lorsque l'on envisage de lutter contre un virus, il convient, dans la mesure du possible, de pratiquer le semis ou la plantation de telle façon que les jeunes plantes ne sortent pas du sol pendant une période de grande activité des insectes vecteurs. Il est même souhaitable que la levée des plantes ait lieu le plus longtemps possible avant l'apparition de ces insectes. C'est ainsi que les betteraves semées tôt résistent beaucoup mieux aux virus de la jaunisse et de la frisolée que les betteraves semées tardivement. Des centres d'avertissement devraient pouvoir suivre l'évolution et surtout les vols de pucerons, et éventuellement de quelques cicadelles, afin de conseiller les cultivateurs sur les dates de semis, de plantation, de récolte ou de traitement insecticide de certaines cultures (pommes de terre sélectionnées, betteraves, épinards, navets, etc.).

Pour ce qui est de la destruction des plantes-hôtes adventices et de la rotation des cultures, il est extrêmement important de connaître notamment la liste complète des plantes susceptibles de servir d'hôtes au virus à combattre. Cette liste peut être très longue, parfois plus d'une centaine d'espèces végétales peuvent être infectées par le même virus. D'autre part, les virus ne pouvant, en général, se conserver que dans des tissus vivants, il est particulièrement important de connaître les plantes qui leur permettent de se conserver pendant l'hiver pour écarter ces dernières, d'une façon ou d'une autre, des cultures de printemps menacées par ces virus. De cette façon, on peut arriver à rompre le cycle annuel des plantes-hôtes de certains virus. A titre d'exemples, les cultures d'épinard d'hiver et les silos de betteraves fourragères constituent généralement des sources de virus pour les cultures de betteraves ; il en est de même en ce qui concerne les champs de luzerne vis-à-vis des parcelles de féveroles et de pois.

Dans certains cas, notamment lorsqu'il s'agit d'un virus transmis par le sol (cas assez rares), il faut veiller à ne pas cultiver successivement au même endroit deux plantes-hôtes de ce virus, non plus, évidemment, que d'y faire revenir la même plante-hôte plusieurs années consécutivement. C'est ainsi que la culture répétée de tabac sur la même parcelle est à déconseiller ; de même que la succession immédiate de la tomate au tabac ou vice versa.

L'influence de la fumure des plantes sur le degré d'attaque des virus n'est pas toujours sensible ; toutefois, dans certains cas, on note une action favorable de l'azote ou de la fumure organique sur la résistance des végétaux. Il en est ainsi parfois dans le cas de la jaunisse de la betterave et de l'enroulement de la pomme de terre. Par contre, on a constaté, dans quelques cas, une multiplication plus grande de virus dans les plantes ayant reçu une plus forte dose d'azote.

Par suite de la promiscuité fréquente d'un grand nombre d'espèces végétales, les cultures faites *en serre* sont souvent infectées par des virus transmissibles par les insectes ou par le jus adhérant aux mains des jardiniers. Outre la lutte contre les insectes vecteurs, dont nous avons parlé plus haut, on y peut recourir à diverses mesures qui limitent la propagation des virus. Quelques-unes de ces mesures, les plus importantes, sont les suivantes :

— Les ouvriers se savonneront fréquemment les mains au cours des opérations de repiquage, pincement, bouturage, greffage, etc.

— On évitera de faire des semis et du bouturage dans les serres où se trouvent des plantes vivaces ou multipliées par voie végétative.

— Pour la multiplication par voie végétative, on n'utilisera que des pieds-mères d'aspect rigoureusement sain. A ce titre, rappelons que certains spécialistes américains de la production de boutures de chrysanthèmes vérifient l'état sanitaire de leurs plantes-mères au moyen d'inoculations par jus ou par greffe sur des plantes-tests.

e) *Les traitements par la chaleur.*

Par le traitement à la chaleur d'organes de multiplication végétative (boutures, rhizomes, tubercules, etc.) ou de plantes-mères, il est parfois possible d'y inactiver certains virus qui les infectent et d'en obtenir, par la suite, des plantes saines. Cette méthode a été appliquée avec succès dans les cas suivants :

— diverses viroses du pêcher,
— la jaunisse de l'aster sur *Vinca rosea* et *Nicotiana rustica*,
— le « false blossom » de la pervenche,
— le balai de sorcière, le virus Y et l'enroulement de la pomme de terre,
— la bigarrure chlorotique, le rabougrissement et le « sereh » de la canne à sucre,
— le « bushy sunt » de la tomate,
— le « ring spot » de l'œillet,
— la mosaïque du concombre,
— l'« aspermy » de la tomate,
— la panachure infectieuse de l'abutilon,
— la frisolée du fraisier,
— la bigarrure chlorotique de l'herbe à éléphant *(Pennisetum purpureum)*,
— la mosaïque et le rabougrissement du framboisier.

La durée du chauffage et la température utilisées varient selon les virus et parfois aussi selon les plantes et même les variétés. La technique employée peut être aussi très différente suivant les cas : on recommande tantôt le trempage dans l'eau chaude, tantôt l'action de l'air chaud. En général, une proportion, parfois assez importante, des plantes ou des organes végétaux traités ne résiste pas au traitement et ceux qui y survivent ne sont pas toujours tous guéris.

Cette méthode de lutte ne peut donc pas être mise sans réserve à la disposition des cultivateurs, d'autant plus qu'elle nécessite un outillage et des soins très attentifs qui, en général, ne se trouvent que dans les laboratoires spécialisés.

f) *Le bouturage.*

Bien que, en principe, tous les tissus d'une plante virosée soient infectés, on constate parfois une distribution irrégulière du virus d'où il résulte que des parties de la plante, en général les plus jeunes, restent indemnes de virus pendant quelque temps (1). Dans ce cas, on peut obtenir des plantes saines en se servant de ces éléments non infectés comme boutures. Chez la pomme de terre, il n'est pas rare de trouver des tubercules sains dans des touffes virosées, notamment lorsqu'il s'agit d'une infection par le virus Y.

Parfois, seuls certains méristèmes sont exempts de virus. Dans ce cas, on doit en faire des micro-boutures que l'on cultive sur un milieu artificiel ; on les greffe ensuite sur des plantes saines et, enfin, on bouture les greffons ayant acquis une taille suffisante, suivant une technique mise au point par G. Morel et C. Martin.

En utilisant l'une ou l'autre technique basée sur le principe énoncé ci-dessus, on a pu produire des plantes saines à partir notamment des cas suivants :

— Abutilons atteints de panachure infectieuse,
— Mélilots infectés du « wound-tumor virus »,
— Dalhias atteints du virus de la mosaïque ou du virus des taches bronzées de la tomate,
— Pommes de terre infectées du virus X, du virus Y ou du virus A,
— Cannes à sucre atteintes du « chlorotic streak virus »,
— Tomates infectées du virus de la mosaïque du tabac.

Comme le traitement à la chaleur, le bouturage, surtout à l'aide de micro-boutures, ne doit être employé que pour obtenir, dans certains cas, des plantes saines d'une variété de valeur qui ne produit normalement que des sujets contaminés.

g) *La chimiothérapie.*

Divers chercheurs se sont attachés à mettre au point une technique chimique de lutte contre les virus eux-mêmes. Jusqu'à présent ces travaux n'ont guère donné de résultats pratiques ainsi que nous l'avons montré dans une communication faite, en 1955, au Symposium de Phytopharmacie à Gand. Rappelons,

(1) Signalons aussi que quelques virus sont plus particulièrement localisés dans certains tissus, par exemple : le virus de la frisolée de la betterave dans le phloème et le virus du « ring spot » du tabac dans le tissu épidermique.

à titre d'exemple, que F. O. Holmes a pu immuniser des plantes de tabac contre le virus de la mosaïque en arrosant journellement la terre avec une solution aqueuse à 0,01 % de thio-uracile, de telle sorte que chaque plante reçoive 5 mgr de produit par jour pendant 4 à 12 jours. D'autre part, E. M. Stoddard aurait guéri des bourgeons de pêcher atteints de la virose X par trempage de ces derniers dans des solutions aqueuses de quinhydrone. D. Norris, enfin, signale que l'on peut éliminer le virus X de boutures aseptiques de pomme de terre infectées en les faisant flotter pendant 3 semaines sur une solution nutritive contenant 1 à 4 p. p. m. de vert de malachite.

D'après C. A. John et C. Sova, on peut inactiver le virus de la mosaïque du tabac véhiculé par les graines de tomate, en trempant les semences pendant 15 minutes dans une solution à 10 % de phosphate trisodique.

## Conclusions.

Le résumé de l'état actuel de nos connaissances sur les maladies à virus des plantes, que nous venons de faire, montre que la phytovirologie est une science expérimentale, dynamique, en progrès constants, que l'on ne pourra plus ignorer à l'avenir dans le cycle des études phytobiologiques ou agronomiques. Son étude s'impose non seulement du point de vue scientifique pur, mais aussi du point de vue économique par suite des dommages importants que peuvent occasionner les virus aux spéculations végétales.

Les recherches de phytovirologie exigent non seulement un matériel abondant et souvent coûteux, mais aussi des connaissances très vastes relevant d'un certain nombre de disciplines telles que : la biochimie, l'entomologie, la physiologie végétale, la génétique, l'anatomie végétale, la systématique des plantes, sans oublier diverses techniques agronomiques touchant la culture des plantes dans les conditions les plus différentes (le greffage, l'expérimentation en serre et au champ, etc.).

Enseignée depuis plusieurs années dans de nombreuses universités à l'étranger, la phytovirologie n'a été, jusqu'à présent, qu'effleurée dans notre enseignement agronomique. Il faudra qu'un jour elle fasse l'objet d'un enseignement spécial, au niveau universitaire, sous peine de voir notre agriculture souffrir grandement de cette carence. Déjà actuellement, on sent bien souvent les effets de cette ignorance presque complète de la phytovirologie chez ceux qui, au niveau de la direction ou à celui de l'application, ont la responsabilité de notre économie agricole. Il est grand temps que l'on remédie à cet état de choses, si l'on veut combler cette lacune dans la formation des générations futures d'agronomes, dont dépendra ultérieurement le niveau économique de notre agriculture.

En terminant, nous nous plaisons à rendre hommage au Fonds National de la Recherche Scientifique et à l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture qui, par leur large com-

préhension et l'aide constante qu'ils nous ont assurée, ont rendu possibles les travaux que nous avons effectués depuis plus de 20 ans dans le domaine de la virologie végétale.

## PRINCIPAUX OUVRAGES CONSULTÉS


BAUER, D. J. — *Metabolic aspects of virus multiplication. The nature of virus multiplication.* — Second Symposium of the Society for General Microbiology, Oxford, 1952, p. 46.

BAWDEN, F. C. — *Plant viruses and virus diseases.* — Waltham, Mass., U. S. A., 1950.

BAWDEN, F. C. & NIXON, H. L. — *The application of electron miscroscopy to the study of plant viruses in unpurified plant extracts.* — The Journal of General Microbiology, 1951, 5, n° 1, p. 104.

BAWDEN, F. C. & PIRIE, N. W. — *Virus multiplication considered as a form of protein synthesis. The nature of virus multiplication.* — Second Symposium of the Society for General Microbiology, Oxford, 1952, p. 21.

BAWDEN, F. C. — *The spread and control of plant virus diseases.* — Ann. Appl. Biol., 1955, 42, p. 145.

BAWDEN, F. C. — *Plant Pathology Department.* — Report of the Rothamsted Experimental Station for 1955, Harpenden, 1956, p. 89.

BENNETT, C. W. — *The nomenclature of plant viruses.* — Phytopathology, 1939, XXIX, p. 422.

BRAKKE, M. K. — *Zone electrophoresis of dyes, proteins and viruses in density-gradient columns of sucrose solutions.* — Arch. Biochem. Biophys., 1955, LV, 1, p. 175.

COHEN, S. S. — *Comparative biochemistry and virology. Advances in virus research.* — Academic Press, 1955, III, p. 1.

HOLMES, F. O. — *The filtrable viruses.* — Williams and Wilkins Co., Baltimore, 1948.

JEENER, R. — *Le rôle de l'acide ribonucléique dans la multiplication des virus.* — Proceedings of the Third International Congress of Biochemistry, Brussels, 1955, p. 343.

JOHN, C. A. & SOVA, C. — *Incidence of tobacco mosaic virus on tomato seed.* — Phytopathology, 1955, 45, 11, p. 636.

KNIGHT, C. A. — *The chemical constitution of viruses.* — Advances in Virus Research. II. Academic Press, New York, 1954, p. 153.

KÖHLER, E. — *Pflanzenpathogene Viren.* — Fortschritte der Botanik, 1954, XV, p. 476.

KÖHLER, E. & KLINKOWSKI, M. — *Viruskrankheiten.* — Parey, Berlin, 1954.

LIMASSET, P. — *Les phénomènes de résistance à l'infection et d'immunité dans les maladies à virus des plantes.* — Revue de Pathologie comparée et d'Hygiène générale, 1950, 50, n° 618, p. 389.

Limasset, P. — *L'identification sérologique des virus des plantes.* — Revue de Pathologie Générale et Comparée, 1955, n° 667, p. 609.

Limasset, P. — *Quelques données importantes sur les virus des plantes.* — Bull. de la Soc. bot. Fr., 1955, 102, n° 5-6, p. 248.

Maramorosch, K. — *Multiplication of plant viruses in insect vectors.* — Advances in Virus Research. Academic Press, 1955, III, p. 221.

Markham, R. — *Nucleic acids in virus multiplication. The nature of virus multiplication.* — Second Symposium of the Society for General Microbiology, Oxford, 1952, p. 85.

Matthews, R. E. F. — *Criteria of relationship between plant virus strains.* — Nature, 1949, 163, 4135, p. 175.

Morel, G. & Martin, C. — *Guérison de Dahlias atteints d'une maladie à virus.* — Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1952, t. 235, pp. 1324-1325.

Ragetli, H. W. J. & Van der Want, J. P. H. — *Paper chromatography of plant viruses.* — Proceedings of the Koninkl. nederl. Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, Séries C, 1954, N° 5, p. 621.

Roland, G. — *Recherches effectuées en 1937 sur la jaunisse et quelques carences minérales de la betterave.* — Publ. Inst. Belge Amélior. Bett., 1938, 2, p. 79.

Roland, G. — *Sur la résistance de défense des variétés de pomme de terre à l'égard du virus Y* (*Solanum virus* 2, Orton). — Parasitica, 1946, II, 3, p. 89.

Roland, G. — *La nomenclature des virus de la pomme de terre.* — Proceedings of the Conference on Potato Virus Diseases. Wageningen-Lisse, 13-17 August, 1951, p. 52.

Roland, G. — *Étude virologique sur la Pomme de Terre. Recherches symptomatologiques et histopathologiques.* — Comptes Rendus de Recherches de l'I. R. S. I. A., 1952, 7.

Roland, G. — *Quelques recherches sur l'enroulement de la pomme de terre* (*Solanum virus* 14, Appel & Quanjer). — Parasitica, 1952, VIII, 4, p. 150.

Roland, G. — *Sur l'emploi des insecticides systémiques contre les pucerons vecteurs du virus de la jaunisse de la betterave* (*Beta virus* 4, Roland et Quanjer). — Parasitica, 1953, IX, 4, p. 125.

Roland, G. — *Nieuwe opzoekingen over de virusziekten van enkele planten.* — Verhandelingen van de Koninklijke Vlaamse Academie voor Wetenschappen, Letteren en Schone Kunsten van België, Klasse der Wetenschappen, 1954, XVI, 48.

Roland, G. — *La chimiothérapie et les viroses végétales.* — Mededelingen van de Landbouwhogeschool en de Opzoekingstations van de Staat te Gent, 1955, XX, n° 3, p. 447.

Smith, K. M. — *A textbook of plant virus diseases.* — Churchill, London 1937.

Smith, K. M. — *Recent advances in the study of plant viruses.* — Churchill Ltd., London, 1951.

Smith, K. M. — *Past and present trends in plant virus research.* — Ann. Appl. Biol., 1955, XLII, p. 115.

Van Rysselberge, C. & Jeener, R. — *The role of the soluble antigens in the multiplication of the tobacco mosaic virus.* — Biochim. et Bioph. Acta, 1955, 17, p. 158.

Van Slogteren, E. & De Bruyn Ouboter, M. P. — *Onderzoekingen over virusziekten in bloembolgewassen. II. Tulpen. I.* — Mededelingen van de Landbouwhoogeschool te Wageningen, 1941, deel 45, Verh. 4.

# Biochimie microbienne

## Quelques applications industrielles importantes

par

Maurice Galanti,
*Assistant, Service de Microbiologie et de Biochimie,*
*Institut Agronomique de l'État, à Gembloux.*

### I. — Avant-propos.

Abstraction faite de la microbiologie « pathologique » intéressant tant le règne animal que végétal, l'étude des « microbes » peut s'envisager sous les aspects suivants :

*A.* Études théoriques, si l'on peut dire, s'adressant à la morphologie, à la cytologie, à la génétique, à la physiologie, à la systématique des microorganismes.

La biochimie microbienne présente ici un intérêt de tout premier ordre, car les potentialités multiples du monde microbien permettent d'étudier, sur un matériel particulièrement accessible, un grand nombre de réactions intéressant la généralité des êtres vivants.

*B.* La microbiologie des milieux naturels et, en tout premier lieu, du sol, siège de nombreuses transformations de matières organiques et minérales, concomitantes ou successives, indispensables au maintien de la vie à la surface du globe.

*C.* La microbiologie et la biochimie des fermentations, bases d'une partie importante, peut-être prédominante, de ce que l'on pourrait appeler la biochimie industrielle, allant de la biosynthèse de corps simples comme l'alcool, l'acide acétique, l'acétone, à la production d'antibiotiques ou de vitamines ; allant de la « levure alimentaire » à l'usage de microgermes dans la conservation de certains aliments.

*D.* La lutte contre les altérations microbiennes (aliments, eaux, textiles, papiers, bois, peintures, tissus, cuirs, métaux, verre, plastiques, etc.), domaines soulevant du reste un certain nombre de questions d'ordre théorique (par exemple, l'étude des facteurs régissant la désinfection par voie chimique, physique, voire biologique, etc.).

Cette distinction entre divers aspects de la microbiologie est d'ailleurs plus ou moins factice, car il serait souvent malaisé, et peu logique, de séparer en microbiologie et en biochimie microbienne, ce qui est « science pure » et ce qui est « science appliquée ».

Dans cet article, nous nous en tiendrons uniquement à la microbiologie et à la biochimie des fermentations (au sens large) dont nous envisagerons quelques aspects variés jugés spécialement intéressants dans le domaine industriel.

L'usage des fermentations dans un but alimentaire est vieux comme le monde. Toutefois leur étude scientifique date du siècle dernier ; elle fut marquée par les travaux des Pasteur, Lindner, Beyerinck, Büchner, Wehner, Avery, Duclaux, Calmette, Fernbach, et de bien d'autres chercheurs illustres, successeurs de Lavoisier et de Gay-Lussac.

Il est extrêmement utile, à notre époque de vitesse, de machinisme et d'automation, de nous rappeler et de réétudier les travaux de nos prédécesseurs. Ceux-ci présentent encore souvent, dans le domaine de la biochimie fermentaire appliquée, un intérêt de premier plan.

Nos ancêtres les plus éloignés avaient appris de l'expérience la préparation du vin... et ses sympathiques effets : Théophraste, qui naquit quatre cents ans avant Jésus-Christ, décrit la bière comme du vin d'orge.

Mais quoique la bière et le vin aient une histoire aussi ancienne, il y a relativement peu de temps que l'on a surpris le secret de leur élaboration.

En effet, l'étude des microgermes fut longtemps orientée presque exclusivement vers la pathologie et l'hygiène, domaines principalement réservés aux facultés de médecine. Ce n'est qu'assez récemment que l'on envisagea la microbiologie générale comme une science autonome, et que, de façon systématique, on entreprit l'étude de ses applications industrielles et agricoles.

L'étude des microbes, aux espèces si nombreuses et aux chimismes si variés, démontra rapidement l'importance de leur rôle dans l'économie générale du globe.

Songeons simplement ici aux cycles du carbone, de l'azote, du soufre, du phosphore, pour ne citer que ceux-là !

Du point de vue industriel, les études microbiologiques et biochimiques ont montré rapidement le rôle prédominant des microbes en distillerie, boulangerie, laiterie, brasserie, vinaigrerie, cidrerie, fromagerie, leur intervention dans le rouissage, l'ensilage, la tannerie, etc.

Toutefois, il est évident qu'une compréhension nette du rôle que les microbes peuvent jouer dans la nature et surtout dans l'industrie exige une connaissance approfondie de leurs diverses propriétés et activités chimiques et biologiques.

De plus, l'étude du métabolisme des bactéries et des microfungi aide non seulement à la production industrielle de produits formés par biosynthèse, mais également à la découverte de nouveaux composés chimiques variés et parfois complexes, permettant souvent d'élucider en partie les réactions métaboliques des microorganismes intéressés.

Citons au hasard parmi ces composés chimiques nouveaux : l'acide homoprotocatéchique et l'acide 2.4.5 tri-hydroxyphénylglyoxylique synthétisés par *Polyporus tumuleus ;* deux nouveaux polysaccharides produits par *Penicillium lacteum*, l'un contenant 88 % de d. galactose, l'autre 64 % de glucose ; l'acide chrysophonique par *P. islandicum ;* les acides 4.5 di-hydroxy-2-méthylanthraquinone, usnique, didynique, rhodocladonique et tant d'autres composés dont l'importance économique éventuelle n'apparaît peut-être pas immédiatement, mais pourrait se révéler dans l'avenir.

L'établissement des stades successifs et du bilan d'une fermentation, présente donc un intérêt scientifique majeur. Mais ils présentent aussi un intérêt pratique. Ils permettent, en effet, de déterminer le rendement optimum que les techniciens s'efforcent d'atteindre dans le travail industriel. Mieux encore, en caractérisant les principaux sous-produits formés, ils tracent la voie à suivre pour améliorer le bilan économique soit en diminuant, si possible, la quantité de ces sous-produits, soit, au contraire, en essayant de récupérer ceux-ci lorsqu'ils présentent un intérêt réel, comme c'est le cas notamment en fermentation alcoolique, pour l'alcool amylique et le glycérol, quitte d'ailleurs, dans certaines conjonctures économiques, à augmenter leur proportion au détriment du produit principal.

Et l'on peut dire que les progrès remarquables accomplis par la biochimie microbienne au cours de ces dernières années ont eu de profonds retentissements, non seulement sur la microbiologie théorique mais aussi et surtout sur ses applications industrielles. Ils ont parfois bouleversé l'aspect de ces dernières et ont étendu puissamment leur domaine.

La biochimie microbienne s'intéressa rapidement à un grand nombre de problèmes variés et des conclusions qu'elle a amenées, on a pu tirer un grand nombre d'applications industrielles pratiques. Citons parmi les plus intéressantes ou les plus importantes : *la production des alcools éthylique, butylique (plus l'acétone), amylique ; la production du 2,3 butanediol, du 2 propanol, du glycérol, de l'acétyl-méthyl-carbinol, du mannitol, etc. ; la production des acides citrique, kojique, itaconique, gluconique, α-cétoglutarique, ascorbique, 2 cétogluconique, acétique, oxalique, gallique, tartrique, fumarique, 5 cétogluconique, lactique, butyrique, propionique, maltobionique, lactobionique, succinique, pyruvique, ustilagique ; la production des antibiotiques, dont les plus connus au point de vue thérapeutique sont : la pénicilline, la streptomycine, l'auréomycine, la tétracycline, la chloromycétine, la bacitracine, la subtiline, l'actidione, l'érythromycine, la polymyxine, la tyrotricine, la néomycine, la fumagilline, l'oxytétracycline, la viomycine, la carbomycine ; la production des vitamines* $B_1$, $B_2$, $B_{12}$, C *et* D ; *la production d'enzymes comme les amylases* α *et* β, *les enzymes pectinolytiques, les lipases, la glucose-oxydase, la lactose-oxydase, les protéases ; la production de matières grasses ; la production de protéines ; la production de composés et corps divers comme les dextranes, l'acétate d'éthyle, le méthane, le soufre, les hormones, la cortisone ou l'hydrocortisone et de bien d'autres de moindre importance ; etc.*

Cet article, s'adressant à une revue destinée sinon à des spécialistes des industries agricoles ou des fermentations, du moins à des ingénieurs, aura volontairement une allure technique.

Le domaine envisagé étant extraordinairement vaste, nous avons choisi dans ce but quelques exemples aussi variés que possible : nous insisterons donc, dans chaque cas étudié, sur la façon pratique dont sont réalisés quelques

problèmes d'intérêt industriel. Parmi la multitude de fabrications importantes utilisant les fermentations, nous avons retenu les productions de l'alcool éthylique à partir de racines de Manioc et de fleurs de *Bassia*, d'importance considérable dans certains pays tropicaux et asiatiques, de la vitamine B 12, de certains antibiotiques (pénicilline, streptomycine, bacitracine) et de la « levure alimentaire ».

## II. — Fermentation alcoolique.

### *Production d'alcool à partir de racines de manioc et de fleurs de Bassia.*

Nous n'avons pas voulu reprendre ici les techniques classiques et partout utilisées pour la production d'alcool éthylique à partir de moûts sucrés, de mélasses, voir d'autres milieux comme les lessives sulfitiques, les déchets d'aliments, les déchets de certaines industries comme celles des fruits par exemple, les bouillies de céréales, etc.

Nous avons choisi à dessein deux productions qui pour être peu connues chez nous, n'en présentent pas moins un intérêt économique et industriel considérable dans certaines contrées, qui au stade actuel de nos moyens de communication modernes, ne peuvent plus être considérées comme lointaines.

De plus, par l'augmentation continue du coût des matières premières usuelles comme la mélasse par exemple, les pays occidentaux et ceux d'Amérique du Nord se tournent volontiers vers de nouvelles sources importantes et facilement accessibles de matières premières, ce qui augmente d'autant l'importance de certaines fabrications nouvelles et inédites.

Nous pouvons ranger parmi celles-ci la production d'alcool éthylique à partir de fleurs de *Bassia* et de racines de Manioc, pratiquée respectivement aux Indes et en Amérique du Sud, ainsi que déjà actuellement dans certains autres pays tropicaux.

Ces nouvelles productions ont une très grande importance car outre l'emploi courant de l'alcool en alimentation et en pharmacie, ce produit est devenu essentiel dans la chimie organique moderne depuis une trentaine d'années surtout.

L'alcool est en effet un corps qui se prête très bien aux réactions catalytiques de la chimie organique ; de plus, des débouchés considérables se sont créés en raison de la production sans cesse croissante de matières plastiques et des laques et vernis à base de résines et de dérivés cellulosiques faisant appel à des dérivés chimiques aliphatiques.

Or, en partant d'alcool, on peut obtenir par une suite de réactions catalytiques importantes, capables de fournir de hauts rendements, la presque totalité des dérivés aliphatiques dont l'industrie moderne a besoin, comme par exemple, le butadiène servant à préparer le caoutchouc de synthèse et les oléfines capables de conduire à l'obtention d'huiles de graissage de haute qualité.

Au début de ce siècle, c'est l'industrie des dérivés aromatiques tirés des goudrons de houille qui tenait la vedette ; c'était l'époque des grandes découvertes relatives aux colorants, aux produits pharmaceutiques, aux explosifs.

Mais du point de vue pratique, cette chimie semble avoir atteint son épanouissement maximum à l'époque de la première guerre mondiale.

C'est alors que démarra soudain, avec l'apparition des laques pour automobiles, le développement de la production des dérivés aliphatiques.

Jusque là le carbure de calcium et les dérivés de la carbonisation du bois étaient les sources de matières premières utilisées. Elles devinrent bientôt insuffisantes et on eut recours à l'alcool. Pour mieux matérialiser cette évolution fulgurante, citons par exemple, la production de caoutchouc de synthèse aux États-Unis, obtenu à partir de butadiène pendant et après la dernière guerre mondiale.

D'après certains auteurs, on aurait approché en une seule année le chiffre sensationnel d'un million de tonnes dont une partie importante aurait été produite au départ d'alcool.

N'est-il pas significatif qu'en 1948 on ait produit aux États-Unis, 8.200.000 tonnes de produits chimiques organiques dont les deux tiers étaient des produits aliphatiques, et qu'on ait, pour les seuls plastiques, atteint en 1948, 750.000 tonnes représentant 375.000.000 de dollars.

Citons également pour mémoire l'utilisation croissante en agriculture, des produits insecticides incorporant à la fois des produits aliphatiques et des produits aromatiques ; le remplacement de l'emploi comme support pour les films de la nitrocellulose, éminemment inflammable, par celui de l'acétate de cellulose ininflammable produit par synthèse à partir d'alcool ; la fabrication de composés importants comme l'anhydride acétique, l'aldéhyde acétique et bien d'autres.

En résumé, ces développements considérables des emplois de l'alcool ont grandement renforcé l'intérêt des fermentations en cause et ont suscité des applications nouvelles économiquement intéressantes.

*Production d'alcool à partir des fleurs de Bassia.*

Le Bassia est une plante des régions chaudes que l'on cultive également aux Indes, où on trouve les fleurs de 3 espèces : *Bassia latifolia*, *B. longifolia*, *B. butyraca*.

Les fleurs de *Bassia latifolia* constituent une source importante d'hydrates de carbone fermentescibles. On en a d'ailleurs exporté beaucoup en France pour la fabrication de « brandy », du moins avant l'interdiction de leur emploi.

Elles constituent, de plus, un article régulièrement employé dans l'alimentation de certaines régions tropicales.

On compte environ 80 livres de fleurs utilisées, par habitant et par année ; en outre les graines servent à la fabrication de margarine. Chaque arbre peut produire 200 à 300 livres de fleurs 10 ans après la plantation.

On estime que 40.000 tonnes de fleurs sont utilisées chaque année dans les seules provinces centrales des Indes, ce qui représente l'équivalent de 3.600.000 gallons d'alcool éthylique (90 gallons d'alcool à 95 % pouvant être obtenus par tonne de fleurs séchées). Dans l'état de Hyderabad seul, par exemple, il y a suffisamment de fleurs de Bassia pour produire 400.000 gallons d'alcool à 95 % sans compter tous les autres usages des fleurs, et actuellement les fleurs de Bassia viennent au second rang après les mélasses pour la production d'alcool.

Pendant la deuxième guerre mondiale, la demande d'acétone s'est accrue et l'usage des fleurs de Bassia pour la production de ce composé s'est également répandu.

D'après Fowler, qui fut un des derniers à faire une étude détaillée de ces fleurs, celles-ci contiendraient de 60 à 70 % de sucre total.

L'étude a aussi révélé la présence dans les fleurs, d'enzymes tels que l'amylase, la catalase, l'invertase, la maltase, certaines oxydases, l'émulsine. L'amylase disparaît quand la fleur s'ouvre, l'émulsine et l'invertase diminuent quand les fleurs sont mûres.

On a isolé également plusieurs races de levures sur les fleurs de Bassia, et en utilisant ces levures en cultures pures pour la fermentation, on a obtenu 90 % du rendement théorique en alcool. Récemment encore Lendner a décrit une nouvelle espèce de levure, *Zygosaccharomyces mahwae*, trouvée sur les fleurs de Bassia. Hussain et Bhate ont étudié et montré l'effet favorable des résidus de fermentation sur l'alimentation du bétail et sur la production de lait.

Après ces différentes et premières constatations, des essais plus poussés ont été réalisés avec *Bassia latifolia*, l'organisme fermentaire étant ici *S. cerevisiae.*

Toutefois, nous n'envisagerons pas la technique de la fermentation proprement dite, celle-ci étant sensiblement la même que celle pratiquée dans les procédés classiques.

Nous décrirons simplement, dans ses grandes lignes, la préparation du milieu à fermenter, ce qui représente la phase inédite de cette fabrication.

*Préparation du milieu.*

A la maturation, les fleurs sont cueillies et séchées sur des claies ou sur le sol soit à l'air, soit dans des séchoirs ad hoc.

Leur analyse donne :

| | |
|---|---|
| sucre inverti | 52,6 % |
| sucre non inverti | 2,0 % |
| autres subst. sol. dans l'eau | 7,2 % |
| cellulose | 2,4 % |
| albuminoïdes | 2,4 % |
| cendres (potasse, phosphates,...) | 4,8 % |
| humidité à 100° C | 15 % |
| subst. indéterminées | 12,6 % |

Les fleurs entières sont mises à macérer dans un tank muni d'un agitateur (mélangeur).

Les extractions sont alors réalisées, d'abord pendant 30 minutes à la température ambiante, puis pendant 10, 20, 30 minutes à la température de 75° C.

On utilise 20, 25 ou 30 grammes de fleurs par 100 cc de milieu liquide.

Pour réaliser cette opération, on place les fleurs dans l'extracteur jusqu'au deux tiers de la hauteur ; on remplit alors l'extracteur avec de l'eau.

Après cinq minutes de macération, la masse est transférée dans un tank inoxydable pour l'extraction proprement dite.

On refroidit immédiatement à 40° C dès la fin de la diffusion. Abhyankar et Narayana ont ainsi préparé un sirop, par extraction à chaud et après traitement par des superphosphates et du charbon activé ; ce sirop, évaporé à 70-75° Brix, titrait :

| | |
|---|---|
| sucres réduits | 47,8 % |
| sucres non réduits | 13 % |
| humidité | 26,4 % |
| non sucre | 12,9 % |

L'extrait obtenu est alors envoyé dans des tanks (« fermenteurs ») et est inoculé avec une suspension de levures préparée sur un milieu de même concentration d'extrait de fleurs de Bassia.

On évite la production de mousses par l'addition de 0,3 % d'agent anti-moussant à base d'huile animale.

Les tanks « fermenteurs » sont incubés à 31° C environ et le milieu est agité périodiquement pendant les 72 heures de la fermentation. Un inoculum différent est préparé pour chaque fermenteur.

Le rendement en alcool dépend de la concentration en extrait du milieu.

Des différents et multiples essais réalisés au laboratoire, puis transposés à l'échelle industrielle, on a conclu que les meilleurs rendements étaient obtenus quand on utilisait :

— Des extraits de fleurs de Bassia à 20 % ;

— Des mélanges avant la macération et l'extraction ;

— L'extraction à chaud, à 75° C au moins, pendant 30 minutes ;

— Des milieux corrigés par l'addition de sulfate ammonique et de phosphate ammonique.

Et des résultats acquis on peut conclure, en se basant actuellement sur une production journalière de 2.000 gallons d'alcool à 95 % que le gallon revient à 0,372 dollar, si l'on tient compte du fait que les fleurs de Bassia peuvent être utilisées 300 jours par année.

*Production d'alcool éthylique à partir de racines de manioc (Manihot utilissima).*

Le manioc est une plante originaire du Brésil ; elle est répandue dans toute la zone tropicale de l'Amérique du Sud, de l'Asie (les Philippines, Java, les

Indes, etc.) et de l'Afrique (Congo, etc.) où par la richesse en amidon de sa racine, elle joue un rôle de premier plan dans l'alimentation. Cette plante constitue une abondante source d'amidon qui, après saccharification peut servir à la production d'alcool.

C'est la difficulté de trouver un agent saccharifiant intéressant qui a freiné longtemps l'expansion de cette industrie.

On a utilisé soit l'hydrolyse acide donnant des rendements de 43 à 74 %, soit le malt qui donne des rendements de 70 à 74 %.

Tout récemment, on a obtenu des rendements de 90 % en utilisant la saccharification par des moisissures obtenues en cultures submergées.

Nous exposerons les grandes lignes de ce procédé.

Le manioc est une plante herbacée appartenant à la famille des Euphorbiacées. Ses racines charnues peuvent atteindre 1 m de long sur 15 à 25 cm de diamètre ; elles contiennent de 25 à 32 % de fécule.

On récolte 3 à 5 tonnes de racines par ha après 1 an de croissance et 7 à 10 tonnes après deux ans.

On utilise dans cette production l'amidon de la racine de la plante après deux ans de croissance. Cet amidon est mieux connu sous le nom de « tapioca ».

Les racines sont arrachées et aussitôt découpées et séchées pour un stockage éventuel.

Les cossettes sèches obtenues contiennent 75 % d'amidon et 7 % d'eau ; elles constituent une source d'amidon importante et économique, voire plus avantageuse que celles habituellement utilisées. Au Brésil, d'ailleurs, on intensifie la culture de la plante, et en 1946 déjà, 9.000.000 de tonnes y ont été produites ; aux Philippines également la plante constitue une des sources principales de matières premières pour beaucoup d'industries utilisant l'amidon.

### 1. *Préparation du milieu et saccharification.*

L'agent saccharifiant est constitué par une culture active d'*Aspergillus niger*, pratiquée dans un milieu à base de céréales (maïs, par exemple).

La saccharification s'effectue de la manière suivante :

— De l'eau chauffée à 45° C est additionnée de 2,6 % (du volume final) d'inoculum fongique préparé.

— On chauffe le mélange à 50° C et on ajoute les cossettes sèches. Le pH du milieu est ajusté à 5,5/5,6.

— Le milieu est chauffé alors à 75° C pendant une heure et il est ensuite autoclavé sous une pression de 2 kg pendant une heure également.

— Après la stérilisation, il est refroidi rapidement à 48° C et additionné alors une deuxième fois de culture fongique (10 % du volume final).

— Le milieu est de nouveau chauffé à 48° C pendant 5 à 10 minutes.

— Il est alors refroidi à la température de fermentation.

— On porte au volume final en ajustant le pH à 4,8.

Il faut veiller, avant l'addition de l'agent saccharifiant, à ce que la température ne descende pas au-dessous de 48° C, sous peine de mauvais rendements.

### 2. *Fermentation.*

Le milieu fraîchement préparé est inoculé avec 2 % en volume d'une suspension de levures. La fermentation complète dure 65 heures à 28° C.

On obtient un rendement de 6,51 gallons d'alcool par boisseau. Les cultures d'*Aspergillus niger* peuvent s'obtenir sur d'autres milieux où elles produisent de grandes quantités d'enzymes : c'est ainsi que l'on a employé, par exemple, avec d'excellents résultats, la farine brute de manioc ou *Cassava*, les farines de riz ou de soja.

Actuellement, on peut dire qu'avec l'emploi d'agents saccharifiants d'origine fongique et de fabrication aisée, la production d'alcool éthylique à partir de racines de manioc se situe aux tout premiers rangs des très nombreux procédés qui ont trait à cette production.

## III. — Production industrielle de vitamines par voie microbiologique.

La production de vitamines par voie microbiologique a atteint, ces dernières années, un intérêt commercial considérable par l'apparition, en même temps que de nouveaux débouchés, de nouveaux modes de fabrication.

Actuellement, les vitamines les plus couramment obtenues par « fermentation » appartiennent au groupe B, et parmi celles-ci une des dernières à avoir été mise en évidence est la vitamine B 12 ou « cobalamine ».

Depuis sa découverte en 1948, la production de cobalamine est devenue aux États-Unis une importante industrie biochimique ayant donné lieu à une littérature abondante.

D'abord isolée à partir d'extraits de foie, la vitamine B 12 est obtenue actuellement presque exclusivement par voie microbienne, soit seule, soit en même temps que certains antibiotiques. De nombreux chercheurs, utilisant des organismes variés, se sont attaqués à ce problème. Citons au hasard : Hall et ses collaborateurs, qui ont examiné 5.000 moisissures, levures, actinomycètes et bactéries ; Nelson, qui a étudié plus particulièrement la production par *Streptomyces fradiae ;* Hendlin et Ruger, par *St. griseus ;* Petty, par *Flavobacterium solare ;* Smiley, par *Ashbya gossypii ;* Halbrook, par *Aerobacter aerogenes.*

Citons également Leviton et Hargrove, qui produisent la vitamine B 12 en deux phases : dans la première, ils emploient *Lactobacillus casei* et dans la seconde *Propionibacterium freudenreichii*, avec des rendements de 4 mg par litre après 312 heures de fermentation. Mentionnons encore le procédé de Tarr, utilisant comme milieu des extraits de poissons qu'il fermentait avec *S. aureofaciens ;* les procédés de Burton et Lochhead, qui emploient certaines

bactéries et certains streptomyces isolés du sol ; ceux de Garibaldi, Brink, Folkers, etc.

En préparations hautement purifiées, la vitamine B 12 est utilisée dans le traitement de l'anémie pernicieuse et dans les cas de déficiences nutritives chez les humains.

Toutefois, le plus grand avenir au point de vue commercial réside dans son utilisation comme adjuvant dans l'alimentation du bétail, ce qui a d'ailleurs grandement contribué au développement très rapide de sa production.

C'est ainsi qu'en 1952, aux États-Unis, sur 35.000.000 de tonnes d'aliments mixtes pour bétail, 23.000.000 de tonnes ont requis un supplément de vitamine B 12 correspondant à peu près à 200 kg représentant une valeur de 10.000.000 de dollars.

Nous envisagerons, dans cette note, la production de vitamine B 12 par *Streptomyces olivaceus*.

*Matériel.*

La biosynthèse est conduite principalement et successivement dans des tanks cylindriques en acier ou en cuivre de 600, 800 et 4.000 gallons.

Chaque tank surmonté d'un couvercle conique est équipé d'un système d'agitation, de chauffe, de refroidissement, et de tous les appareils accessoires permettant le contrôle de la fabrication, tels que thermomètres, manomètres, robinets de prises d'échantillons, vannes à vide, etc.

Pour les tanks de 600 gallons en acier, on utilise 300 gallons de milieu de culture correspondant à une hauteur de 1,2 m environ ; pour ceux de 800 gallons en cuivre, on utilise également 300 gallons de milieu mais la hauteur du liquide atteint seulement 0,80 m. Enfin, pour les tanks de 4.000 gallons en cuivre, on utilise 1.000 gallons de milieu, la hauteur du milieu ne dépassant pas 1 m.

*Préparation de l'inoculum.*

D'une culture mère de *Streptomyces olivaceus*, entretenue sur le milieu de Bennet dans des flacons de 100 cc, des spores sont prélevées et servent à ensemencer des flacons de 500 cc garnis du milieu suivant :

| | |
|---|---|
| dextrose | 0,5 % |
| « corn steep liquor » | 0,5 % |
| Chlorure de Co (CoC12,6 $H_2O$) | 2 millioniëmes |
| huile de soja | 0,1 % |

Le milieu à pH 7 est stérilisé pendant 30 à 60 minutes à la température de 110° C. Après refroidissement, il est ensemencé et inoculé pendant 48 heures à 25-27° C. Après incubation, le milieu est transféré aseptiquement dans des bouteilles de 9 litres contenant 4 litres de milieu stérile ; suit une nouvelle incubation de 48 heures, à 25-27° C. Cette deuxième culture est aérée par pas-

sage d'air stérile. Après développement, elle est transférée dans des tanks contenant 45 gallons de milieu stérile, aérés également pendant les 48 heures de fermentation à la température de 22° C. Cette dernière culture sert alors à ensemencer des tanks de 600 gallons, permettant ainsi le départ de la production industrielle.

*Production industrielle.*

Dans les tanks de 600, 800 ou 4.000 gallons, le milieu est stérilisé par brassage avec de la vapeur qui le porte à la température désirée pendant le temps nécessaire.

Après stérilisation, le pH du milieu est ajusté par addition aseptique de NaOH stérile, puis ensemencé. Des déterminations de pH, des sucres, de vitamines sont effectuées continuellement au cours de la fermentation.

Une contamination quelconque a pour conséquence inévitable une diminution très sensible du rendement.

La teneur en vitamine B 12 est déterminée par la méthode de Skeggs et ses collaborateurs (test de croissance avec *Lactobacillus Leichmannii* ATCC 4797).

Dans cette méthode, les échantillons et les standards sont autoclavés avec une solution tampon de bisulfite de Na, de citrate de Na et phosphate de K donnant un pH de 4,5. Les échantillons standards contiennent approximativement de 0,05 à 0,30 mg de vitamine B 12 pure par litre.

La comparaison entre les croissances de *L. leichmannii* sur milieux standards et sur des échantillons donne la valeur relative de la pureté de la vitamine produite.

*Facteurs influençant la production.*

De nombreux facteurs peuvent influencer la bonne marche de la biosynthèse. Parmi ceux-ci, les plus importants sont : les méthodes de stérilisation, la composition du milieu, l'inoculum, la température de fermentation, le pH, l'aération et l'agitation.

Nous ne pouvons envisager, dans les détails, tous ces facteurs ; nous nous contenterons de signaler, pour chacun d'eux, les points les plus importants.

### 1. *Méthodes de stérilisation.*

Deux méthodes furent étudiées : la stérilisation discontinue à haut et bas pH, et la stérilisation continue à haut et bas pH également. Dans la stérilisation discontinue, il faut maintenir le milieu pendant 1 1/2 h à 2 heures à 115° C pour obtenir la stérilité.

A pH bas, une quantité suffisante de cuivre est libérée dans les tanks en cuivre pour inhiber la croissance de l'organisme producteur. Par contre, la stérilisation continue ne dure que 13 minutes à 150° C. Elle est la plus couramment pratiquée et donne d'excellents résultats, quelle que soit la nature des

tanks utilisés. Suite à la contamination par le cuivre, lors de la stérilisation le rendement peut descendre jusqu'à 0,1 mg de vitamine par litre.

### 2. *Composition du milieu de culture.*

Les milieux utilisés contiennent des protéines, du glucose, du $CaCO_3$, du $CoCl_2$ et une petite quantité d'huile de soja utilisée comme agent anti-moussant. En général, tous les extraits de céréales solubles dans l'eau donnent de bons résultats.

On a remarqué que l'absence de cobalt donne de mauvais rendements : la quantité optimum se situe entre 1,3 et 9 millionièmes. L'absence de $CaCO_3$ provoque la formation de mousses abondantes et un rendement déficient. L'absence de dextrose provoque une variation importante de pH qui abaisse le taux en vitamine.

### 3. *Inoculum.*

La quantité d'inoculum utilisée représente, en général, de 1 à 12 % du volume total. Avec 1 %, les rendements ne sont que légèrement inférieurs à ceux obtenus avec 12 %. Le pourcentage optimum est de 5 %.

### 4. *Température de fermentation.*

La « fermentation » est conduite à des températures comprises entre 22° C et 30° C. Des essais ont montré que les meilleurs rendements sont obtenus à 25° C après 11 heures d'incubation.

### 5. *pH.*

Les plus grandes quantités de vitamines sont produites par des pH compris entre 7 et 8. Quand le pH atteint 8, on l'abaisse avec de l'acide sulfurique concentré. A pH 7,5, les rendements se maintiennent aux environs de 1,4 mg par litre. Sans contrôle de pH, en laissant telle qu'elle la fermentation pendant 113 h, on obtient des rendements de 1,16 mg par litre.

### 6. *Aération et agitation.*

La vitesse de production de vitamine B 12 augmente, du moins dans certaines limites, avec l'aération et l'agitation.

En général, il est nécessaire de prévoir une absorption d'oxygène de l'ordre de 0,4 millimole par litre de milieu et par minute, pour une fermentation durant 89 heures. Pour une fermentation ne dépassant pas 72 heures, 0,7 millimole et plus sont requises.

L'agitation optimum est obtenue pour une vitesse de l'agitateur de 70

tours/minute. L'aération optimum pour les tanks de 4.000 gallons est 0,3 m$^3$ d'air stérile par minute.

*Extraction de la vitamine B 12 des jus fermentés.*

Le milieu fermenté est traité à l'acide sulfurique concentré jusqu'à pH 5, puis est évaporé à une température de 50 à 110° C jusqu'à consistance sirupeuse.

Le sirop obtenu est séché à la vapeur sous une pression de 10 kg. A 75° C ou moins, on obtient 80 % du produit contenu dans le jus, l'activité du concentré sec étant sensiblement la même. Le rendement est d'environ 10 % inférieur pour les concentrés préparés au-dessus de 75° C.

*Taitement du sirop avant la dessiccation.*

Des essais ont montré que le pH du sirop n'avait pas d'importance avant sa dessiccation. Du thioglycolate de Na ajouté au sirop à pH 5,2 produit une augmentation de rendement de 10 à 20 %. Une concentration d'agent réducteur (voir plus bas) de 10 millionièmes est suffisante pour protéger la vitamine au cours de la dessiccation.

*Séchage du sirop.*

On utilise soit des tambours à la vapeur sous pression, soit la pulvérisation, soit le séchage sous vide. Aucun de ces procédés n'est supérieur aux autres sauf peut-être celui de la pulvérisation à 85° C, suivie d'un refroidissement immédiat, mais les difficultés de réalisation pratique de ce procédé lui enlèvent une bonne partie de son avantage.

*Agents protecteurs.*

Des agents protecteurs (réducteurs) sont utilisés en mélange avec le jus fermenté et augmentent les rendements. Ainsi le sulfite de Na à concentration de 100 millionièmes donne une augmentation de 10,5 % ; le cyanure de K à concentration de 10 ppm produit une augmentation de 8 %.

D'autres procédés actuels de fabrication sont sensiblement les mêmes que celui décrit ci-dessus : ils donnent tous un produit final sec contenant de 15 à 17 mg de vitamine B 12 par livre et revenant dans ces conditions à 2,69 cents par mg.

## IV. — Production d'antibiotiques par biosynthèse.

La littérature actuelle sur les antibiotiques est tellement volumineuse qu'il serait difficile, voire impossible, de mentionner ne fût-ce que la liste complète des chercheurs qui se sont attaqués à ce problème passionnant.

Parmi les ouvrages jugés les plus intéressants, citons au hasard ceux de Florey, Waksman, Baron, Pratt et Dufresnoy, les revues générales dues à Raper, Brian, Robinson, Lumb, etc.

Le nombre des antibiotiques ne cesse d'augmenter : on en trouve non seulement chez les végétaux inférieurs, mais on décèle aussi, chez les plantes supérieures et même chez des animaux, des substances à action antibiotique.

Quoi qu'il en soit, parmi les milliers d'antibiotiques décrits, un petit nombre seulement font l'objet d'une industrialisation poussée.

La plupart des antibiotiques utilisés pratiquement sont produits par biosynthèse microbienne et l'étude biochimique des germes producteurs a pris en quelques années une importance énorme. Nous évoquerons rapidement ici la pénicilline et la streptomycine puis, prenant, à titre d'exemple, la bacitracine dont l'usage se répand, nous en exposerons la préparation, assez semblable, du reste, sous certains aspects techniques, à celle d'autres antibiotiques.

## Pénicilline et streptomycine.

Que de chemin parcouru depuis les premières observations de Gratia et de Fleming au sujet d'une action inhibitrice de certaines colonies de moisissures !

Quand on pense qu'en 1941, il n'y avait pas assez de pénicilline aux États-Unis pour traiter un seul malade, et probablement pas assez, en 1942, pour une centaine de traitements ; quand on pense que c'est en 1946 seulement que la streptomycine est devenue accessible en quantité notable, les productions de 343.000 kg de pénicilline en 1953 et, la même année, de 170.000 kg de streptomycine ne manquent pas d'étonner.

Ces développements presque inconcevables sont dus à l'amélioration des nombreuses techniques qui interviennent dans la production de ces composés : sélection des souches, obtention de nouvelles souches par les rayons X ou ultra-violets, étude poussée des milieux et des conditions de culture, perfectionnement des méthodes d'extraction, etc.

Le rendement en pénicilline, streptomycine et d'autres antibiotiques comme la carbomycine, l'érythromycine, la tétracycline par exemple dépend de nombreux facteurs, et il y a loin de la production actuelle en tanks de 8.000 gallons, à la production en bouteilles de 1/2 ou 3/4 de litre utilisées encore pendant la deuxième guerre mondiale, pour la pénicilline par exemple.

L'équipement essentiel nécessaire à la fabrication consiste :

— en flacons ou récipients en verre pouvant être soumis à l'agitation ;
— en vases en verre ou en acier de 30 litres au moins ;
— en tanks de fermentation industrielle, tanks dont la capacité est variable et dépendante notamment de l'importance de l'usine qui les utilise.

Les tanks industriels sont recouverts intérieurement d'un enduit synthétique. Ils sont munis de tous les appareils nécessaires au contrôle et à la marche de la fabrication (thermomètre, manomètre, agitateur, circuits chauffants ou doubles enveloppes, prise d'échantillons, etc.). Ils constituent des batteries,

le milieu pouvant ainsi être facilement transféré d'un tank à l'autre. Les flacons de laboratoire et les vases en verre de 30 litres servent à la fabrication des « starters ». Les vases de 30 litres sont équipés des mêmes accessoires que les tanks industriels.

Des réservoirs à agents anti-moussants sont joints à chaque tank. Le système d'agitation et d'aération est contrôlé et réglé automatiquement au cours de la fermentation.

La stérilisation du milieu s'effectue par injection de vapeur sous pression dans la masse, laquelle est agitée pendant toute la durée de l'opération. Après incubation, le milieu est transféré par pompage dans le département de purification.

Toutes les opérations s'effectuent en chaîne et ne nécessitent qu'un minimum de manipulations.

### *Facteurs régissant la production de pénicilline et de streptomycine.*

#### 1. *Aération et agitation.*

Des essais effectués, on a conclu que le rendement optimum est obtenu pour une agitation de 450 tours par minute pour la pénicilline et de 250 tours par minute pour la streptomycine.

Le problème posé par l'aération des milieux de culture est plus difficile à résoudre. En effet, la viscosité des milieux varie avec l'âge de la culture et une étude soigneuse de la pression de l'air à maintenir est nécessaire.

Pour la pénicilline, par exemple, l'agitation se fait à raison de 450 tours par minute, avec addition de 0,5 à 1 volume d'air par volume de milieu. Dans ces conditions, les rendements ont varié de 780 à 1269 unités par cc.

Le milieu utilisé se compose de :

| | |
|---|---|
| cérélose | 1,5 % |
| huile de soja | 1,5 % |
| « corn steep solids » | 0,5 % |
| NaCl | 0,25 % |
| $CaCO_3$ | 0,1 % |
| lactose | 3,5 % |
| $ZnSO_4$ | 0,005 % |
| agent anti-moussant : octadécanol | 3 % |

#### 2. *Composition du milieu.*

La composition du milieu en sucres est très importante.

Les meilleurs rendements sont obtenus avec des sirops contenant 0,5 % de puritose ou de cérélose.

3. *Agents anti-mousses.*

Les agents anti-mousses doivent satisfaire aux critères suivants : ne pas être toxiques ; ne pas agir comme « activeurs » de certaines souches de *Penicillium* ou de *Streptomyces ;* être de coût peu élevé.

4. *Contrôle de la température.*

La détermination et surtout le contrôle de la température dans les industries fermentaires ont toujours constitué un problème délicat.

Actuellement, pour les vases ou les tanks de contenance moyenne, on emploie des bains-marie à température réglable ; pour les tanks de capacité plus importante, on utilise des doubles enveloppes.

5. *Stérilisation.*

Les milieux contenant des substances solides et liquides ne sont pas homogènes, ce qui rend leur stérilisation souvent délicate. La température intérieure du milieu ne doit pas dépasser 110° C pendant toute la durée de la stérilisation (30 à 60 minutes). Après refroidissement, la stérilité est maintenue par une pression intérieure d'air stérile de 0,1 à 0,2 kg par $cm^2$.

6. *Purification.*

La purification de la pénicilline et de la streptomycine présente des problèmes tellement complexes et changeants, que les usines qui produisent ces composés possèdent, en général, des départements qui étudient exclusivement ce stade de la fabrication.

Actuellement la pénicilline et la streptomycine sont purifiées par passage sur des colonnes calibrées chargées d'un adsorbant bien déterminé.

Bacitracine.

La production industrielle de certains antibiotiques comme par exemple le chloramphénicol, la terramycine, la tétracycline, la bacitracine, a crû ces dernières années dans des proportions énormes. Nous envisagerons ici, plus particulièrement, les grandes lignes de la production de bacitracine.

La bacitracine est produite par *Bacillus subtilis*, organisme élaborant, suivant les conditions et le milieu de culture, d'autres antibiotiques comme la bacilline, l'eumycine, la subtiline, etc. Tous ces composés sont soit des polypeptides, soit des composés à très grosses molécules donnant par hydrolyse beaucoup d'acides aminés.

La bacitracine commerciale se présente sous la forme d'une poudre gris clair, hygroscopique, dont la structure chimique n'est pas encore bien connue. L'analyse élémentaire révèle seulement du C, de l'H, de l'N et du S ; son poids moléculaire est de 2700. L'hydrolyse acide donne des acides aminés contenant 90 % de l'azote total.

La bacitracine, outre son emploi croissant dans l'alimentation animale, constitue actuellement un des moyens de lutte les plus importants utilisés par les dermatologistes. Ses usages sont identiques à ceux de la pénicilline quoique d'utilisation différente.

*Production.*

C'est en 1946 par l'apparition de processus utilisant des cultures submergées et applicables à la fabrication de la bacitracine, que la production industrielle de cet antibiotique prit un essor considérable.

La production massive de bacitracine rencontra les mêmes difficultés que celles soulevées lors du développement de la production industrielle d'autres antibiotiques importants comme la pénicilline par exemple, à savoir : la stérilisation de l'air et des milieux, l'aération et l'agitation des cultures, le contrôle des conditions optima de culture, etc.

*Stérilisation de l'air.*

Pour obtenir de l'air stérile, on a utilisé successivement, dans l'industrie, les procédés suivants : exposition ou passage de l'air à haute température ; lumière ultra-violette ; précipitation électronique ; barbotage dans des solutions basiques, acides ou contenant certains désinfectants ; passage de l'air au travers de colonnes chargées de coton, de laine de verre, de charbon activé, etc.

C'est ce dernier procédé qui fut retenu dans la production de bacitracine car les colonnes adsorbantes sont de manipulation aisée, de coût relativement peu élevé et possèdent surtout une durée d'utilisation très longue.

*Préparation de l'inoculum et production industrielle.*

Pour la préparation de l'inoculum, l'organisme producteur est cultivé d'abord en flacons de laboratoire, sur un milieu à base de peptone et d'extrait de terre stérile. L'incubation dure de 18 à 24 heures à 37° C.

Après incubation, les flacons servent à ensemencer des récipients en acier ou en verre de 30 litres au moins, contenant le même milieu.

Après une nouvelle incubation de 18 à 24 heures à 37° C, cette deuxième culture sert à ensemencer des tanks en acier de 150 gallons. Le milieu de ces tanks est préalablement stérilisé par passage de vapeur dans la double enve-

loppe pendant qu'une agitation déterminée y est maintenue. Après la stérilisation, le milieu est refroidi par passage d'eau dans la double enveloppe.

L'inoculum est introduit aseptiquement dans le tank et après inoculation, de l'air stérile est injecté dans la masse pendant 6 heures, au moyen d'une couronne à ouvertures calibrées située à la partie inférieure du tank.

A un moment bien déterminé de la croissance, la culture est chassée par pression d'air stérile dans un autre tank d'une capacité de 1200 gallons et préalablement chargé de milieu de culture.

Le même processus se répète après incubation suffisante, à 37° C, entre ce tank et le tank « fermenteur » de 24.000 gallons.

Dans les tanks de 24.000 gallons, des serpentins intérieurs assurent la réfrigération ; la température intérieure est contrôlée et réglée automatiquement.

L'air stérile est insufflé par des couronnes calibrées garnissant le fond du tank, le flux d'air étant contrôlé automatiquement.

La pression admise à l'intérieur du tank pendant la fermentation est d'environ 0,75 kg par $cm_2$.

La formation de mousse est évitée par l'emploi d'un agent anti-moussant stérilisé par la chaleur. L'agent anti-moussant se compose généralement de 50 parties d'huile minérale et de 50 parties d'anti-mousse chimique synthétique.

*Préparation du milieu garnissant les tanks industriels.*

Le milieu utilisé dans les tanks industriels est constitué pour une grande part de farine de soja soumise prélablement à la cuisson dans des tanks spéciaux (cuiseurs).

Deux types de « cuiseurs » sont utilisés dans la production de bacitracine : cuiseurs de 1200 gallons et fermenteurs-cuiseurs de 12.000 gallons.

Les cuiseurs de 1200 gallons appelés également « cuiseurs à grains » sont des cylindres en acier munis d'une double enveloppe et d'un agitateur vertical.

La charge de ces cuiseurs est de 800 gallons et se compose de : farine de soja, amidon, $CaCO_3$ et eau.

La masse est « cuite » par passage de vapeur dans la double enveloppe, l'agitateur étant en fonctionnement pendant toute la durée de la cuisson.

Après la cuisson, la masse est chassée par pression d'air dans un tank de réserve d'où elle sera acheminée vers le tank « fermenteur ».

Le « fermenteur-cuiseur » est un tank horizontal en acier, muni d'un agitateur horizontal et ne possédant pas de double enveloppe. La charge, de nature identique à celle du cuiseur de 1200 gallons, est ici de 9.000 gallons.

Cette masse de 9.000 gallons est chauffée par insufflation de vapeur au moyen de vannes spéciales disposées tout le long de la partie inférieure du tank.

On chauffe d'abord à 100° C pour chasser l'air du tank, puis à 121° C pendant 60 minutes. L'agitateur fonctionne pendant toute la durée de l'opération. Après cuisson, la masse est refroidie par passage dans des « refroidisseurs », puis envoyée également dans des tanks de stockage.

*Extraction de la bacitracine des milieux fermentés.*

Après l'incubation dans les tanks industriels, le milieu est pompé dans un tank où son pH est ajusté à la valeur désirée par addition d'acide sulfurique.

Il est ensuite filtré au moyen d'un filtre-presse.

Le filtrat clair est soumis à l'extraction par du butanol. Cette extraction s'effectue dans des extracteurs centrifuges spéciaux ; chacun des extracteurs doit être lavé à l'acide phosphorique dilué, après 8 heures de travail continu.

La solution butanolique venant de l'extracteur est envoyée dans un système de distillation sous vide. La distillation s'opère sous une pression de 40 mm de mercure et à une température de 28° C ; les vapeurs sont condensées et permettent ainsi une récupération importante de butanol.

Après la distillation, le concentré obtenu est envoyé dans un tank d'adsorption où il est soumis à l'action d'adsorbants afin d'en éliminer les odeurs et la coloration éventuelles.

Le concentré décoloré passe alors une deuxième fois par un filtre-presse et le filtrat est stérilisé par passage au travers d'un filtre Seitz.

Le liquide final, limpide et stérile, est soumis à l'évaporation sous vide, sous une pression de 100 à 200 microns et à une température de 65 à 75° C.

On obtient ainsi une poudre active contenant la bacitracine.

## V. — Production de « levure alimentaire » a partir de lessives sulfitiques.

L'usage de « levure alimentaire » (qu'il ne faut pas confondre avec la levure de panification) se répand de plus en plus dans le monde.

Depuis quelque temps elle fait l'objet, dans divers pays, d'une production industrielle importante. En Allemagne, pendant la première guerre mondiale, Delbrück fit, semble-t-il, les premières observations sur l'utilisation de *Torulopsis utilis* (Henneberg, Lodder) comme aliment. Il s'agit d'une espèce à pouvoir biosynthétique élevé et d'activité fermentaire faible.

Pendant de nombreuses années, la production industrielle de levure alimentaire resta délaissée ; la « fabrication » consistait tout simplement en la récupération des levures intervenant notamment en distillerie, c.-à-d. *Saccharomyces cerevisiae*. Mais à la suite de nombreuses recherches axées principalement sur le prix de revient et les facilités de fabrication, la production industrielle de levure alimentaire évolua rapidement. Pendant la deuxième guerre mondiale, Fink, Lechner et Just furent parmi les premiers à obtenir une production commerciale importante et l'utilisation de milieux relativement peu coûteux comme la mélasse de betteraves par exemple, permit d'obtenir des rendements intéressants et donna à cette industrie un essor considérable.

Nous décrirons ici, en mentionnant certains détails importants, la production de levure alimentaire à partir de lessives sulfitiques.

L'évacuation des lessives sulfitiques provenant des usines à papier par exemple, a de tout temps constitué un problème délicat. C'est par millions de dollars que se chiffrent les dépenses consacrées à la recherche d'une solution à donner à ce problème.

Deux solutions sont actuellement envisagées :

1. Le traitement chimique de ces lessives dans le but de diminuer leur nocivité sur les eaux des rivières dans lesquelles elles sont déversées ;

2. L'emploi des substances dissoutes ou en suspension qu'elles contiennent pour la production de composés divers dans les industries chimiques et fermentaires.

Du point de vue industriel, elles servent déjà à la production de vanilline, d'acide oxalique, de ciment Portland ; après évaporation et incinération du concentrat obtenu, elles entrent dans la composition de certaines huiles ; elles servent encore à la production d'oxydes réutilisables dans les usines à papier par exemple, à la fabrication d'alcool et enfin à la production de levure alimentaire. Cette dernière utilisation est une des plus récentes et des plus importantes.

En effet, en 1948, la première usine des États-Unis utilisant les lessives sulfitiques produisait déjà journellement 4,5 tonnes de levure sèche.

En 1950, 2.885.000 tonnes de lessives sulfitiques ont été produites aux États-Unis, ce qui représente une source de 500.000 tonnes de sucres fermentescibles pouvant donner des milliers de tonnes de levure alimentaire.

*Traitement des lessives sulfitiques et production de levure.*

Les lessives sulfitiques utilisées dans l'industrie, provenant généralement d'usines différentes, possèdent des propriétés variables selon leur origine.

Elles sont donc stockées en quantités minima de 125.000 gallons, suffisantes pour la mise en œuvre d'un cycle complet de production industrielle.

Leur analyse chimique donne : 1,5 % de sucres fermentescibles contenant 80 % d'hexoses et 20 % de pentoses ; 8 % de solides en solution ; pH 2,5.

Avant leur utilisation, les lessives sulfitiques sont chauffées à 70° C et envoyées dans des colonnes « d'adsorption », à la vitesse de 100 gallons par minute, afin de diminuer leur teneur en $SO_2$ libre ou combiné. Les vapeurs sulfureuses produites sont condensées et les distillats obtenus titrant 8 à 10 gr de $SO_2$ par litre, peuvent être réutilisés pour certaines fabrications comme celle du papier par exemple.

La lessive purifiée est refroidie à 25° C et envoyée dans les tanks de fermentation industrielle. Ces tanks sont des cylindres en acier de 6 à 8 m de diamètre et de 3 à 5 m de hauteur. Ils sont munis extérieurement d'un système de refroidissement par circulation d'eau. Leur charge de travail atteint 45.000 gallons si on utilise une émulsion de lessive et d'air, ou 20.000 gallons si on utilise la lessive seule.

L'air est introduit dans la masse par un système rotatif spécial tournant à la vitesse de 300 tours par minute. Le système d'aération est logé dans le fond d'un petit cylindre situé au milieu du tank principal. Ce cylindre reçoit également la lessive sulfitique par sa partie supérieure, ce qui assure une aération intense et la production d'une émulsion parfaite. La pression de l'air est fournie par un compresseur à un étage débitant de 40 à 50 $m^3$ par minute. L'emploi de ce système évite l'utilisation d'agents anti-mousses.

A chaque tank de fermentation est joint un réservoir de 500 gallons chargé d'un mélange de phosphate diammonique et de chlorure de potassium. Le mélange peut s'écouler par simple gravité dans le tank principal. On ajoute ensuite au mélange lessive sulfitique-phosphate diammonique-chlorure de potassium, une solution ammoniacale à 20 %. La quantité de solution ammoniacale à ajouter est déterminée d'après la concentration en sucre de la solution nutritive. Le pH final du milieu est de 5,0 environ.

Le milieu est ensuite réchauffé à 37° C par passage dans des « réchauffeurs », à la vitesse de 1500 gallons par minute.

Il faut, suivant la nature et la provenance de la lessive sulfitique, de 3750 à 4600 calories par gramme de levure sèche produite. La fermentation est continue. Après inoculation initiale avec une culture de laboratoire de *Torulopsis utilis*, il ne faut plus prévoir de nouvelles inoculations.

Les cultures se maintiennent remarquablement pures, et il n'est pas rare qu'une usine puisse fonctionner deux ans sans devoir être arrêtée pour un nettoyage de ses installations suite à une contamination quelconque.

En effet, les conditions de culture utilisées (pH, température, aération, agitation, etc.) permettent une croissance rapide de *T. utilis* tout en prévenant la multiplication d'organismes contaminants.

*Séparation des levures produites.*

Après une durée de croissance bien déterminée, une quantité de milieu usé est soutirée du tank et est immédiatement remplacée par du milieu neuf, de sorte que le niveau du liquide dans le tank reste constant.

Le milieu usé passe alors sur un cône séparateur de mousses, il est ensuite filtré sur des filtres circulaires rotatifs à paniers calibrés.

Les mousses sont récupérées et retournées dans les tanks de fermentation ; le filtrat est éliminé.

La crème obtenue contenant les levures est lavée plusieurs fois à l'eau (au moins trois fois) dans des tanks laveurs ; les eaux de lavage contenant encore 0,2 % de sucres fermentescibles sont éliminées.

La masse de levure sortant du dernier laveur est envoyée dans un tank « refroidisseur » de 1.000 gallons, et peut servir d'inoculum en cas de besoin.

Le système refroidisseur de ce tank ne fonctionne pas en production normale mais uniquement quand, par arrêt accidentel de l'usine, la levure doit être stockée.

Du tank refroidisseur, la levure passe sur des tambours sécheurs de 1,5 m de diamètre et 35 m de long, chauffés à la vapeur sous pression de 40 kg.

La levure sèche est envoyée finalement dans des « cyclones-mixers » où elle est réduite en poudre contenant encore 6 % d'humidité. La levure en poudre est stockée dans des sacs imperméables en papier de 25 ou 50 kg.

## VI. — Conclusions.

Ainsi que nous l'avons annoncé au début de cette note, nous n'avons envisagé que quelques exemples, aussi divers que possible, exposant certaines techniques de fermentation ou de biosynthèse.

Le lecteur jugera si notre choix fut ou non heureux. Il faut noter que le domaine de la biochimie microbienne est particulièrement complexe et que, utilisant un matériel « vivant », le microbiologiste industriel se heurte de ce fait à une série de difficultés qui ne se rencontrent pas en chimie de synthèse. Il est évident qu'en biochimie industrielle, les techniques sont nombreuses et diverses, soit qu'elles concernent l'organisme producteur lui-même, ou les conditions de sa culture, soit encore l'extraction et la purification des produits formés.

Nous avons essayé, en examinant quelques cas, d'insister sur ces divers points.

Septembre 1956.

## BIBLIOGRAPHIE

La liste ci-dessous donnée par ordre alphabétique correspond, entre autres, aux travaux dont les auteurs sont mentionnés dans le corps de l'article.


1. Adams, S. L., Balankura, B., Andreasen, A. A., Stark, W. H., *Ing. Eng. Chem.*, v. 42, p. 1781 (1950).
2. Baron, A. L., « *Handbook of Antibiotics* », New York, Reinhold Publishings Corp. (1950).
3. Beesch, S. C., Shull, G. M., *Ind. Eng. Chem.*, v. 47, nº 9, p. 1857 (1955).
4. Beesch, S. C., *Applied Microbiology*, v. 1, nº 2, p. 85 (1953).
5. Bennett, R. E., Dudley, J. F., Shepard, M. W., *Ind. Eng. Chem.*, v. 43, nº 7, p. 1489 (1951).
6. Brian, P. W., *J. Roy. Soc. Arts*, nº 1, 194 (1953).
7. Brink, N. G., Folkers, K., *Advances in Enzymol.*, 10, 145 (1950).
8. Burton, M. O., Lochhead, A. G., *Can. J. Botany*, 29, 352-58 (1951).
9. Capriotti, A., *Anthonie van Leeuwenhoek*, v. 20, nº 4, p. 374 (1954).

10. COHEN, G. N., *Biochemica and Biophysica Acta*, v. 8, nº 4, p. 459 (1952).
11. DARKEN, M. A., *Bot. Rev.*, 19, 99 (1953).
12. FINK, H., *Forschungsdienst*, Sonderheft, 16, 724 (1942).
13. FLOREY et coll., « *Antibiotics* », New York, Oxford Univ. Press (1950).
14. FOLKERS, H., *Chem. Eng. News*, 28, 1634 (1950).
15. FORTUNE, W. B., McCORMICK, S. L., RHODEHAMEL, H. W., STEFANIAK, J. J., *Ind. Eng. Chem.*, v. 42, nº 1, p. 190 (1950).
16. FORSTER, J. W., *Annual Review of Microbiology*, v. 5, p. 401-412 (1951).
17. FRANKENBURG, W. G., *Advances in Enzymology*, v. 10, p. 326-428 (1950).
18. GARIBALDI, J. A. et ses coll., présenté à « Division of Agricultural and Food Chemistry », 117th Meeting of the Am. Chem. Soc., Philadelphie.
19. GRAFF, Y., *Rev. des Ferm. et des Ind. alimentaires*, t. X, nº 2, p. 59 (1955).
20. HALL, H. H., BENEDICT, R. G., WIESEN, C. F., SMITH, C. E., JACKSON, R. W., *Appl. Microbiol.*, I, 127 (1953).
21. HALBROOK, E. R., CORDS, F., WINTER, A. R., SUTTON, T. S., *Science*, 112, 308 (1950).
22. HARGROVE, R. E., LEVITON, A., *Bact. Proc.*, 21, (1952).
23. HARNED, R. L., *Applied Microbiology*, v. 2, nº 6, p. 365 (1954).
24. HENDLIN, D., HUGER, M. L., *Science*, 111, 541 (1950).
25. HILDEBRANDT, F. M., *Advances in Enzymology*, v. 7, p. 557-612 (1947).
26. JONES, K. L., *J. Bactériol.*, 57, 141 (1949).
27. KEITH, B., GOERGI, M. C. C., *Applied Microbiology*, v. 2, nº 6, p. 355 (1954).
28. LEDINGHAM, G. A., *Annual Review of Microbiology*, v. 8, p. 431-453 (1953).
29. LEE, S. B., *Ind. Eng. Chem.*, 41, p. 1868 (1949).
30. LEMOIGNE, M., LEFÈVRE, J., *Annales des Fermentations*, t. 6, nº 34, p. 85 (1941).
31. LUMB, M., *Repts Appl. Chem.*, 37, 677 (1952).
32. MAESEN, Th. J. M., *Biochemical and Biophysica Acta*, v. 15, nº 3, p. 434 (1954).
33. MANIL, P., « *Microbes et Actions microbiennes* » (1945). Éd. Desoer, Liège.
34. MOSSEL, A. A., *Revue des Ferm. et des Industries alimentaires*, t. 8, nº 5, p. 187 (1953).
35. MOYER, A. J., COGHILL, R. D., *J. Bact.*, 51, 79 (1956).
36. NELSON, J. W. et ses coll., *Sciences*, 119, 379 (1954).
37. IDEM, *Ind. Eng. Chem.*, 42, 1259 (1950).
38. PERLMAN, D., BROWN, W. E., LEE, S. B., *Ind. Eng. Chem.*, v. 44, nº 9, p. 1996 (1952).
39. PERLMAN, D., KROLL, L. C., *Ind. Eng. Chem.*, v. 46, nº 9, p. 1809 (1954).
40. PETTY, R. D., *Chem. Inds*, 66, 184 (1950).
41. PFEIFFER, V. F., VOJNOVICH, C., HEGER, E. N., *Ind. Eng. Chem.*, nº 5, p. 843 (1954).
42. PRATT, R., DUFRENOY, J. J., *Antibiotics* (J. B. Lippincott Co., Philadelphia Pa., 255 pp., 1949).
43. RAPER, K. B., *Mycologia*, 44, 1 (1952).
44. ROBINSON, F. A., *Am. repts. Soc. Chem. Ind. on Progress Applied Chem.*, 33, 603 (1948).
45. SAEMAN, F. J., *Anal. Chem.*, 19, 913 (1947).
46. SHAEFFER, K. L., *J. Bact.*, 57, 141 (1949).

47. Skeggs, H. R., Huff, J. W., Wright, L. D., Bosshardt, D. K., *J. Biol. Chem.*, 176, 1459 (1948).
48. Smiley, K. L. et ses coll., *Ind. Eng. Chem.*, 43, 1380 (1951).
49. Smith, G., *Endeavour*, v. 5, nº 19 ; p. 110 (1946).
50. Stadtman, E. R., *Bull. de la Soc. de Chimie Biologique*, t. 37, nº 4, p. 931 (1955).
51. Sterckx, R., *Revue des Fermentations et des Ind. alimentaires*, t. 3, nº 2, p. 57 (1948).
52. Sullivan, N. P., Symmes, A. T., et coll., *Sciences*, 107, 169 (1948).
53. Tarr, H. L. A., *Can. J. Tech.*, 30, 265 (1952).
54. Teixeira, C. A., Andreasen, A, A., Kolachov, P., *Ind. Eng. Chem.*, v. 42, nº 2, p. 1781 (1950).
55. Thatcher, F. S., *Annual Review of Microbiology*, v. 8, 447-471 (1954).
56. Tittsler, R. P., *Bacteriological Reviews*, v. 16, nº 4, p. 227 (1952).
57. Underkopfler, L. A., « *Industrial Fermentation* », Chemical Publ. New York (1954).
58. Waksman, S. A., *Sciences*, 118, 259 (1953).
59. Waksman, S. A., Le Chevalier, H. B., « *Actinomycetes and their Antibiotics* », Williman and Wilkins, Baltimore (1953).
60. Welch, H., *Antibiotics and Chemotherapy*, v. 5, nº 4, Supplément spécial, I (1955).
61. Welsch, M., *Revue des Fermentations et des Ind. Alimentaires*, t. 10, nº 4, p. 148 (1955).
62. Wiley, A. J., Holderby, J. M., Hughes, L. P., *Ind. Eng. Chem.*, v. 43, nº 8, p. 170 (1951).

# Considérations et suggestions sur les forêts congolaises et leurs bois

par

R. Thomas,

*Ingénieur agronome A. I. Gx.*

Durant la première moitié du présent siècle, l'indice de la consommation mondiale de bois est passé de 1 à 14, tandis que de 1940 à 1945, le nombre des emplois du bois est passé de 2.000 à 4.000 et probablement bien au-delà actuellement.

Même si, ultérieurement, l'accroissement de la consommation mondiale et celui de la diversité des emplois ne se poursuivent pas, souhaitons-le, à de tels rythmes, mais compte tenu, d'autre part, du degré d'industrialisation croissant de certains pays jusqu'ici gros exportateurs de bois bruts (Canada, Suède, etc.), le moment est venu de recourir aux richesses forestières des régions tropicales ; l'appoint qu'elles fourniront sera d'année en année plus important et nécessaire.

Au Congo belge, les forêts du type *dense*, plus ou moins humides, communément appelées forêts *équatoriales*, couvrent une superficie *brute* d'environ un million de km² et s'étendent presque sans interruption des rives du fleuve Congo et de l'Ubangi jusqu'à la crête dorsale orientale, approximativement entre les parallèles 4° Nord et 4° Sud.

Ceci équivaut, en étendue, à peu près à la *trentième* partie de la totalité de la surface boisée *mondiale* et à la *moitié* des forêts exploitables *africaines*. De tels chiffres se passent de commentaire et montrent quelles perspectives d'avenir peuvent s'ouvrir pour les forêts de notre Colonie.

Ces forêts denses comptent parmi les plus productives et, au Congo, sont en fait les seules intéressantes pour le commerce d'exportation, du moins celles qui sont assez proches des grandes voies fluviales et ferrées.

Ces mêmes forêts se composent, pour près des quatre cinquièmes — notamment dans la cuvette centrale où, d'ailleurs, de vastes étendues boisées (± 3.000 km²) sont marécageuses ou périodiquement inondées — de peuplement dits *hétérogènes*, souvent très mélangés, donc à grand, trop grand nombre d'essences (en moyenne 40 à 50 espèces différentes par hectare et souvent plus) *sans* dominance marquée de l'une d'elles ; le cinquième restant, plutôt localisé au-dehors de la cuvette centrale, vers les Nord et Nord-Est, contient plusieurs types de peuplements plus ou moins *homogènes*, parfois même presque

purs, à nombre assez faible d'essences, dont une, dominant très nettement, caractérise le type en cause, par exemple l'énorme forêt primaire à *Gilbertiodendron dewevrei* ou limbalu (pureté 10 à 99 % avec moyenne de 50 %, superficie brute de quelque 200.000 km²) dont il faut souligner, en passant, le caractère probablement unique d'étendue et pureté conjuguées parmi toutes les forêts feuillues tropicales.

Pour l'ensemble des forêts denses congolaises, il semble bien que le cube *total* sur pied oscille autour d'une moyenne approximative de 350 m³ par hectare.

Jusqu'ici l'exploitation *effective* n'a guère porté sur plus de *500.000 ha*, soit 1/200ème de la superficie totale brute précitée (100.000.000 ha, qui ne sont certes pas tous exploitables) ; ces quelque 500.000 ha n'ont produit en 1954 qu'environ *1.000.000m³* grumes, alors que le potentiel *théorique* de production, d'après l'accroissement annuel moyen *supputé*, serait environ 700 fois plus grand si les cent millions d'hectares étaient exploitables et exploités, notion encore une fois théorique mais utile à évoquer. La production *annuelle* de bois d'œuvre susmentionnée (1.000.000 m³ grumes) est aux trois-quarts consommée dans la Colonie même, le reste, soit *à peine le quart* (en 1955, 234.000 m³ grumes avec une valeur douanière d'environ 350 millions) alimentant le commerce d'*exportation* et provenant de quelques massifs (Mayumbe, région du lac Léopold II, etc.) plus ou moins anciennement exploités et ne comportant pas tous de suffisantes réserves pour l'avenir ; nous aurons à revenir sur ce point plus loin.

L'aspect économique de l'*exploitabilité* des principaux peuplements de la forêt dense est à considérer actuellement en tenant compte de certains critères essentiels : richesse unitaire en essences appréciées — situation géographique par rapport aux lieux de sortie ou aux grands centres intérieurs de consommation — conditions plus ou moins favorables de la station même (sol ferme, peu accidenté, etc.).

La *composition spécifique*, trop complexe et trop variable dans l'espace, de la majorité de nos peuplements de forêts denses en rend encore malaisée l'exploitation rationnelle car, sauf l'exception de certains peuplements homogènes assez purs *(Terminalia superba* = limba, *Gilbertiodendron dewevrei* = limbalu, etc.) trop de leurs essences restent encore inexploitables et inexploitées, parce que non vendables, puisque techniquement et commercialement inconnues.

C'est ainsi que sur les quelque cinquante bois congolais exportés en Belgique, la moitié seulement est vraiment connue et assez couramment utilisée, mais à peine le *quart* fait l'objet d'importations substantielles régulières et est *toujours* présent en *stocks* appréciables.

Pareil état de choses a eu des suites onéreuses et non oubliées pour certains soumissionnaires belges de travaux parfois importants et comportant l'emploi

imposé de bois congolais désignés en raison de leurs qualités technologiques ou esthétiques, mais qui n'ont pu être obtenus chez nos importateurs, sinon avec des délais de livraison inacceptables ou bien encore tout à fait fortuitement et en quantité insuffisante.

Outre un plus large emploi quantitatif et qualitatif de nos bois dans les milieux belges et étrangers s'approvisionnant déjà chez nous ou susceptibles de le faire, il importe de réaliser progressivement la *simplification spécifique* de la forêt congolaise et, partant, son *aménagement* en vue de sa *valorisation* et de sa *rentabilité soutenue*. Tous ces objectifs sont interdépendants, car simplification, aménagement et rentabilité exigent un programme de longue haleine de travaux sylviculturaux et autres, lequel à son tour implique des ressources régulières importantes à provenir de la valorisation des produits forestiers.

A ce propos, il y a lieu d'insister sur la nécessité, dans le budget de la Colonie, de comptabiliser comme recettes forestières toutes les recettes relatives, directement ou indirectement, aux produits forestiers principaux et accessoires, à quelque titre que ce soit (taxes d'abattage et de reboisement, taxes de récolte de copal, etc., amendes pour délits forestiers, montant des droits de sortie des bois, etc.) puisqu'il est bien connu qu'un service qui peut justifier des recettes substantielles obtient plus facilement des crédits proportionnés ; de plus, ceux-ci se révéleront productifs dans la suite, compte non tenu de l'extrême importance du rôle indirect des forêts.

Au sujet de la taxe de reboisement, soulignons en passant l'intérêt de remployer sur place au moins une partie du produit de cette taxe ; sans un minimum de travaux culturaux les peuplements les plus riches ne peuvent que péricliter.

Un autre aspect de la valorisation des bois consisterait à rechercher des utilisations, locales et autres, pour les bois généralement tendres, légers et pâles des essences héliophiles, envahissantes et nuisibles aux essences lourdes et longévives dites précieuses. Dans les nombreuses forêts remaniées et autres peuplements plus ou moins secondarisés, l'élimination de l'excédent de ces essences encore sans valeur permettra seule la simplification indispensable de la forêt ; cette élimination doit pouvoir être réalisée à peu de frais, mais ne le pourra que si les utilisations à trouver (p. ex. petits centres de ramassage ; flottage de houppiers pour charbon de bois, de grumes, etc.) permettent l'exploitation simultanée des deux catégories d'essences, chacune y trouvant un meilleur prix de revient.

Dans la mesure des possibilités économiques, il serait souhaitable de réduire le gaspillage évitable en amplifiant nettement la récupération des arbres et parties d'arbres abattus, actuellement délaissés dans les exploitations forestières et défrichements agricoles et ce aux fins d'usages divers (carbonisation en forêt par fours démontables avec récupération de certains sous-produits — débit de traverses dans certaines troncs et grosses branches sciables, etc.).

Une conséquence heureuse possible d'une exportation progressivement

accrue des bois congolais à destination de la Belgique serait de faire d'Anvers, voire aussi de Gand, le marché de ces bois pour l'Europe continentale du nord-ouest, du nord et du centre ; il est superflu d'en souligner l'intérêt pour les économies belge et congolaise, si l'on note qu'en 1955, 50.000 m³ de bois congolais destinés à d'autres pays que le nôtre ont transité par Anvers.

On ne pourrait trop insister sur la grave incidence des frais de transport, à quelque stade que ce soit, sur le prix de revient des bois congolais.

Quelle qu'en soit la provenance, les bois bruts, marchandise pauvre et pondéreuse, supportent malaisément ces frais et s'il s'agit de bois tropicaux, un fret maritime souvent onéreux les augmente encore massivement.

Dans le cas des bois congolais, la situation géographique de la plupart des massifs exploitables y ajoute le coût de transports fluviaux et ferroviaires particulièrement longs ; celui-ci pèsera encore plus lourdement, sauf modification profonde de notre politique tarifaire en matière de bois, lorsque les centres d'exploitation actuels les plus anciens, parce que les plus accessibles, devront se déplacer vers des massifs plus éloignés, vers le haut fleuve p. ex.

Si l'on considère que le seul débardage des grumes peut parfois coûter presque les trois quarts du prix de revient total de tous les travaux en forêt, comme il est probable que, sauf conditions locales particulières, ce prix ne soit guère sujet à diminution dans l'avenir, ce sont donc les tarifs des transports fluviaux et ferroviaires qu'il faudra revoir.

L'immense forêt centre-congolaise présente un réseau extraordinairement serré de cours d'eau flottables dont bon nombre sont navigables, tout au moins aux embarcations de moyen tonnage aptes au transport des bois.

Vu le coût bien moindre du transport sur les cours d'eau, ces chemins qui marchent et conviennent si bien à l'évacuation des produits forestiers, on ne peut que regretter leur fort insuffisant usage à cette fin, au grand détriment de la valorisation des bois et du développement de l'industrie forestière congolaise ; d'autres pays tropicaux (Nigérie, Laos, Thaïland, etc.) moins favorisés à cet égard que le Congo en usent plus largement.

Cette utilisation spéciale de notre réseau hydrographique devrait être réétudiée, notamment celle des rivières flottables qu'il suffirait généralement de désobstruer périodiquement ; l'aide pécuniaire ou matérielle du gouvernement pourrait être accordée à une espèce de « wateringue » à créer à l'initiative de celui-ci et groupant à cette fin les divers riverains (exploitants forestiers et agricoles, commerçants, etc.) du même cours d'eau.

Une mesure propre à favoriser l'installation d'exploitations dans les régions excentriques de la grande forêt équatoriale et à en valoriser les bois, en vue de l'exportation notamment, serait l'adoption d'un *tarif* interréseaux forfaitaire (*unique* pour chaque catégorie de bois), pour *tous* les bois *d'œuvre* originaires de forêts *denses* sises en *amont* de *Kwamouth, à destination de Léopoldville et au-delà, quelle que soit la distance* entre leur lieu d'expédition et Léopoldville.

La diversité des bois congolais est suffisante pour satisfaire toutes les exigences d'ordres technologique et esthétique des usagers, encore que l'effort déjà accompli soit à poursuivre pour les leur faire mieux connaître encore.

Si leurs emplois en Belgique ne sont pas aussi étendus qu'il le faudrait, c'est probablement pour d'autres motifs, d'ordre économique notamment.

Par exemple, n'est-il pas paradoxal que notre Colonie fournisse si peu de traverses aux chemins de fer et tramways belges ? Malgré la qualité des bois utilisés et leur prix de vente au Congo (départ scierie), ces traverses, rendues en Belgique, sont généralement plus chères que les traverses belges, françaises, voire américaines.

D'autre part, considérant les prix moyens des principaux bois sciés, on constate que le prix de vente des plateaux départ scierie est approximativement triplé lorsque ces mêmes plateaux sont vendus en gros cif Anvers et que chez les détaillants (de Bruxelles par exemple) le prix de vente des planches qui en proviennent peut atteindre voire dépasser selon l'essence, le débit, la demande, etc., le quintuple de celui des plateaux correspondants départ scierie.

Entre le producteur et l'usager se placent donc des opérations et services trop onéreux grevant trop lourdement le coût des bois congolais pour l'acheteur belge, étranger, voire congolais.

Essayons donc de voir ce qu'il en est :

1) *Taxe d'abattage et taxe de reboisement* (20 % de la taxe d'abattage) :

Elles sont modérées, sans incidence trop marquée sur les prix et ne peuvent être mises en cause, sauf exception.

2) *Prix de vente départ scierie :*

En général, ils ne sont nullement excessifs et sont sans influence trop marquée sur les prix de vente belges de détail ; rappelons, à leur propos, le coût toujours élevé du débardage en forêt.

3) *Transports publics :*

a) *Transports interréseaux congolais :*

Certains milieux jugent, dans l'ensemble, les tarifs beaucoup trop élevés ; cela d'autant plus qu'ils sont appliqués aux bois après conversion des $m^3$ en kg, selon des poids conventionnels jugés trop favorables aux organismes de transport. Or, les bois se vendent au $m^3$, donc au volume et non au poids, sauf pour de rares bois spéciaux exotiques. De plus, pour les bois tout au moins, ces transports sont jugés trop lents — parfois 3 à 4 mois jusqu'à l'embarquement à Matadi — et, entre autres inconvénients, responsables de maints dégâts physiques ou autres aux bois expédiés.

b) *Transports maritimes :*

Suivant ces mêmes milieux, le coût du fret Congo-Anvers est aussi jugé trop onéreux pour les bois.

De ce qui précède, il ressort que, du lieu d'expédition à Anvers-quai, le montant global des frais de transport (principaux et accessoires, y compris même les frais d'assurance) ne devrait pas, pour les catégories de bois jusqu'ici passibles des plus hauts tarifs, excéder 1500 fr le m³. Le dégrèvement à envisager pourrait être partiellement compensé par la suppression éventuelle de la prime à l'exportation appliquée aux bois traités.

4) *Droits congolais de sortie :*

Ils ne paraissent pas excessifs et certains bois en sont exonérés. Il semble souhaitable de réexaminer *ensemble* de nouveaux tarifs globaux de transport et un nouveau barême des droits de sortie.

5) *Droits belges d'entrée :*

Ceux-ci pourraient être éventuellement revus pour certaines catégories de bois congolais intéressant l'économie belge et l'activité spéciale des ports nationaux (1).

6) *Bénéfices supputés des importateurs et revendeurs belges :*

Il est malaisé d'établir avec une approximation admissible dans quelle mesure ces bénéfices sont, pour leurs parts respectives, responsables des trop hauts prix constatés, pour certaines essences surtout ; en ceci, on ne peut, en effet, négliger l'influence aggravante des facteurs suivants : longs délais avant réception, déchet parfois important, risques divers et autres aléas. Cependant, certains prix seraient assez troublants et il est très probable qu'une diminution raisonnable des prix en général trouverait une sérieuse compensation dans l'augmentation du volume des ventes.

Si les différents aspects ci-avant exposés du problème de la valorisation de la forêt congolaise, notamment par l'accroissement des exportations de bois, peuvent mériter l'examen des milieux intéressés, il est un moyen, une sorte d'innovation peut-être, qui semble digne d'une attention spéciale, parce que susceptible d'obvier à certaines particularités désavantageuses présentées à la fois par notre domaine forestier congolais et par la grande artère fluviale qui le traverse.

Comme mentionné plus haut et conjointement avec l'intensification du batelage sur tous biefs navigables et avec l'utilisation progressive, dans les massifs forestiers exploitables, des rivières flottables, il s'agirait, en l'espèce, d'envisager la *création*, en un lieu à choisir *vers l'entrée du Stanley-Pool*, d'un « *Port*

---

(1) Au cours de l'année 1955, pour divers catégories et conditionnements de bois congolais importés en Belgique, exonération totale des droits d'entrée a été accordée ; elle a été reconduite pour 1956.

*à Bois »;* dans ce port spécialisé, relié au rail Léopoldville-Matadi, s'effectueraient toutes les opérations de réception, classement, entreposage, conditionnement éventuel, contrôle, regroupement, réexpédition, vente même, etc.

L'organisme, à créer aussi, qui serait chargé de l'édification et de la gestion du dit « Port à Bois » pourrait être constitué selon diverses formules à étudier : coopérative de producteurs et exportateurs congolais, voire d'importateurs belges, ou bien organisme mixte groupant les mêmes participants, le gouvernement de la Colonie — conjointement ou non avec l'Otraco — un « Office des Bois Congolais », etc., ou bien encore toute autre formule à imaginer ; à cet égard, ce qui fut adopté en France pour les Ports Autonomes du Havre, de Bordeaux, etc., pourrait peut-être fournir des indications utiles.

Entre autres avantages et possibilités de ce « Port à Bois », on peut citer :

1) Coût moindre du transport fluvial des bois par une meilleure adaptation au flottage par radeaux ou « flottes » plus importantes.

2) Apport à bas prix à Léopoldville des grumes légères, appoint nécessaire au flottage des bois lourds.

3) Élimination et utilisation à Léopoldville, gros centre de consommation, de tous déchets et bois non exportables (bois de feu, bois d'œuvre de second choix, déchets pour panneaux comprimés, etc.).

4) Préséchage possible, avant exportation, de certains bois.

5) Extension éventuelle, à certains bois jusqu'ici non traités, de traitements préservateurs appropriés.

6) Contrôle généralisé obligatoire (sauf pour les bois contrôlés et exportés par Boma) de tous bois *exportés par Matadi ;* ce contrôle nécessaire à la bonne renommée des bois congolais s'effectuerait par des spécialistes dûment autorisés par le « Port à Bois » et habilités par le Gouvernement (ou un « Office des Bois Congolais », par exemple).

7) Possibilité de grouper, en lots assez importants, pour susciter la demande des importateurs belges et étrangers, les nombreuses petites productions éparses des bois de maintes essences congolaises intéressantes mais trop sporadiques.

8) Possibilité de ventes périodiques, par des firmes installées ou représentées au dit « Port à Bois », ventes connues et fréquentées par les importateurs belges et étrangers.

9) Possibilité d'expertises et arbitrages par des experts et arbitres-jurés de ce « Port à Bois » ; en cas de contestation entre vendeurs et acheteurs non présents, leurs intérêts respectifs sont sauvegardés.

Pareils avantages et possibilités peuvent donc, semble-t-il, justifier la création d'un tel port et de l'organisme ad hoc, qui pourront ainsi contribuer à augmenter le volume et la valeur des exportations de bois congolais, dont la nécessité a été exposée ci-dessus.

# Bibliographie

## RÉFÉRENCES SUR QUELQUES INSECTICIDES (*).

*Nouvel insecticide Shell. Phosdrin.* Ex. Chem. Eng. News, vol. 34, p. 4009 (20/8/56).

Ce nouvel insecticide, toxique pour une grande quantité d'insectes, agit par contact et par fumigation. Il peut être employé 1 à 3 jours avant la moisson. Il a reçu l'approbation du gouvernement des U. S. A.

*Insecticides chlorés.* Ex. Seifen-Oele-Fette-Wasche, vol. 82, p. 393-96 (4/7/56).

Différents composés cycliques tels que : toluène, éthylbenzène, dodécylbenzène, tétraline, 2 méthylnaphtalène furent chlorés en solution dans du tétrachlorure de carbone de — 40° à + 20° C en présence et en absence de lumière. Le seul produit pur qui put être isolé par distillation fut le chlorométhylhexachlorecyclohexane. Ce produit présente de fortes propriétés insecticides. — 23 références.

*Vente d'insecticides en* 1955 *aux U.S.A.* Ex. Soap and Chem. Specialities, vol. 31, p. 169 (juin 1956).

La vente d'insecticides liquides pour pulvérisation atteint 10.557.386 gallons contre 10.433.000 gallons en 1954. L'article donne aussi les tables comparatives de vente depuis 1951 pour les autres formes d'insecticides.

*Marché des pesticides aux U.S.A en* 1956. Ex. Chem. Eng. News, vol. 34, n° 38 (17/IX/56), p. 4542-4544.

Le volume des ventes est en augmentation sensible cette année à cause des grandes quantités d'insectes qui ont infesté le sud des U. S. A. D'autre part, la résistance accrue des insectes aux produits chlorés oblige à augmenter les doses. La désinfection du sol par fumigation prend, elle aussi, une extension de plus en plus considérable. Quant aux prix, ils ont tant baissé que plusieurs compagnies cessent la vente des pesticides pour 1957. D'autres sociétés sont au contraire optimistes.

Mlle Moisse.

## LES LIVRES

F. Plonka et Cl. Anselme. — *Les variétés de lin et leurs principales maladies cryptogamiques.* 180 p., 39 fig., 11 pl. hors texte en couleurs. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 1956. Prix : 1.750 fr. fr.

Dans la première partie de l'ouvrage, F. Plonka procède à l'étude botanique et génétique du lin. Il traite aussi des aptitudes culturales et technologiques des variétés, de l'influence du milieu, de l'utilisation des produits du lin (fibre, huile, tourteau), des principes de la culture des variétés modernes, de la valeur agronomique des variétés cultivées dans le monde. Il propose une clé de déter-

(1) Les revues mentionnées sous cette rubrique ne se trouvent pas à la Bibliothèque de l'A. I. Gx.

mination qu'il fait suivre d'une description des variétés cultivées en France. Dans la deuxième partie Cl. ANSELME décrit les principales maladies cryptoganiques qui peuvent affecter le lin.

R. FOURMONT. — *Les variétés de pois cultivés en France (Pisum sativum L.)*. 254 p., fig., 79 pl. hors texte dont 9 en couleurs. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 1956. Prix : 1.750 fr. fr.

Après avoir donné un aperçu historique sur le pois cultivé et quelques informations générales sur la botanique, les centres d'origine et de dispersion ainsi que les classifications agronomiques antérieures, R. FOURMONT fait une étude descriptive des caractères (feuille, fleur, gousse et grain) susceptibles d'être utilisés dans la détermination des variétés. L'ouvrage est complété par un index alphabétique des variétés et des synonymes et par une bibliographie importante.

G. W. COOKE et divers rapporteurs. — *Valeur agricole des engrais phosphatés produits selon des procédés économisant l'acide sulfurique*. 93 p. Projet n° 162 de l'Agence Européenne de Productivité de l'O. E. C. E., Paris, septembre 1956.

Depuis quelques années, on est parvenu à produire des engrais phosphatés dont la fabrication exige moins d'acide sulfurique qu'on n'en utilise habituellement dans la préparation des superphosphates. Le présent rapport résume et compare les résultats expérimentaux quant à la valeur agrologique de chacun de ces nouveaux types d'engrais phosphatés.

C. H. OLDHAM. — *Black and red currants* (Cassis et groseilliers rouges à grappes). 136 p., 31 fig. Littlebury and Co. Ltd., Worcester, 1956. Prix : 15 s.

Excellente monographie consacrée à l'histoire, à la classification botanique, aux variétés, à la culture, au marché, aux parasites et aux maladies des groseilliers noirs et rouges à grappes.

H. W. HARVEY. — *The chemistry and fertility of sea waters* (Chimie et fertilité des eaux de mer). 224 p., 65 fig. At the University Press, Cambridge, 1955. Prix : 30s.

Les eaux de mer sont envisagées ici en tant que milieu de la flore et de la faune. L'auteur résume les investigations les plus récentes ayant trait à la composition des eaux océanes et aux changements que subit ladite composition sous l'influence des organismes marins. Il étudie le métabolisme et la physiologie des communautés animales et végétales vivant dans les mers. Avec la collaboration de F. A. ARMSTRONG, il commente quelques techniques d'analyse récente. Une bibliographie étendue termine l'ouvrage.

E. BALDWIN and D. J. BELL. — *Cole's practical physiological chemistry* (Chimie physiologique pratique de Cole). 10^e^ éd. 263 p., 24 fig. W. Heffer and Sons Ltd., Cambridge, 1955. Prix : 21 s.

Le professeur Ernest BALDWIN et le docteur David James BELL ont revu et mis au point, pour la dilection des étudiants, le traité de chimie physiologique de S. W. COLE, dont les chapitres sont les suivants : la concentration en ion hydrogène ; quelques propriétés physiques des solutions ; réactions des hydrates de carbone ; les protéines ; les lipides : graisses et substances connexes ; la chimie de quelques aliments ; la digestion et les enzymes ; les hématies ; analyse quantitative et

qualitative de l'urine et du sang ; détection des substances physiologiquement intéressantes. Divers appendices traitent de la tension de vapeur d'eau, des points d'ébullition, de l'emploi du spectroscope et des colorimètres, etc.

The United States Department of Agriculture. — *Marketing. The Yearbook of Agriculture, 1954* (Les marchés des produits agricoles. Annuaire Agricole pour 1954). 506 p., ill. The United States Government Printing Office, Washington, 1955. Prix : $ 1.75.

Divers auteurs, hautement qualifiés, exposent dans le présent annuaire tout ce qui se rapporte aux marchés agricoles. Ils s'adressent non seulement aux fermiers et aux économistes mais aussi aux transformateurs de produits agricoles, aux distributeurs et aux consommateurs. Un atlas des principales productions agricoles américaines et des échanges commerciaux auxquels elles donnent lieu termine l'ouvrage.

The United States Department of Agriculture. — *Water. The Yearbook of Agriculture* 1955 (L'eau. Annuaire Agricole pour 1955). 751 p., ill. The United States Government Printing Office, Washington, 1956. Prix : $ 2.00.

Le présent annuaire rassemble 97 articles dont les divers aspects de l'eau constituent l'objet : les besoins en eau, les sources de l'eau, l'eau et le sol, la conservation des points d'eau, l'eau et les forêts, les eaux d'irrigation, l'eau et les récoltes l'eau et les prairies, l'eau et les jardins et vergers, le drainage des terrains, l'eau et la vie sauvage, etc.

XXX. — *Mes sapins et autres conifères*. 32 p., 16 ill. La Maison Rustique, Paris, 1956. Prix : 160 fr. fr.

Les espèces très nombreuses de conifères, leurs feuillages divers et leurs couleurs variées rendent souvent perplexe l'amateur appelé à faire un choix parmi eux. La lecture du présent livre lui permettra de se décider judicieusement.

Divers auteurs. — *Potassium symposium* 1955. 613 p., ill. Institut International de la Potasse, Berne, 1956. Prix : 27 francs suisses.

Les vingt-six communications qui ont été présentées à Rome, en septembre 1955, lors du congrès annuel organisé par le Conseil technique de l'Institut International de la Potasse, ont été rassemblées dans le présent recueil. Les travaux ont trait à la géologie et à la minéralogie du potassium, aux formes du potassium dans le sol, au potassium contenu dans les divers sols, aux sols italiens en général et à la fumure potassique en Italie.

S. Smith and E. Hosking. — *Birds fighting* (Combats d'oiseaux). 128 p., 32 pl. hors texte. Faber and Faber Ltd., London, 1955. Prix : 18 s.

Dans ce livre captivant, les auteurs procèdent à l'étude expérimentale des manifestations agressives et des combats auxquels se livrent certains oiseaux : coucous, fauvettes, rossignols, pluviers à collier, pour des raisons assez semblables à celles qu'invoquent les hommes dressés les uns contre les autres. Dans leur travail en pleine nature, les deux ornithologistes ont reçu l'aide efficace de G. Edwards.

W. O. JAMES. — *An introduction to plant physiology* (Introduction à la physiologie végétale). 5e éd. 303 p., 82 fig. Clarendon Press : Oxford University Press, 1955. Prix : 17 s. 6 d.

Les grandes divisions de la physiologie végétale sont magistralement traitées ici : photosynthèse, chimiosynthèse ; les sucres et les matières issues d'eux dans la plante ; les composés azotés et le cycle de l'azote ; la décomposition des sucres et la respiration ; quelques caractères physiques des substances organiques ; protoplasme et enzymes ; l'eau dans l'air et dans le sol, la transpiration, les mouvements de l'eau au sein des plantes, le xérophytisme ; la nutrition ; la croissance ; l'irritabilité. La bibliographie renseigne les principales publications relatives à la physiologie végétale.

POLITICAL AND ECONOMIC PLANNING. — *World population and resources* (Population et ressources mondiales). 339 p., ill. P. E. P., London, 1956. Distributeurs : George Allen and Unwin, London. Prix : 30 s.

Dans le présent rapport, des économistes et des sociologues du groupe P. E. P. examinent les problèmes inhérents à la population et aux ressources globales agricoles, minérales et énergétiques. Ils supputent les interactions de la poussée démographique et du développement économique dans dix-neuf états continentaux et insulaires. Ils exposent, pour divers pays, la politique d'expansion (France et U. R. S. S.), de restriction (Inde et Japon) et de stabilisation (Suède et Grande-Bretagne) de la population.

A. CAMPBELL. — *The book of beer* (Le livre de la bière). 304 p. D. Dobson, London, 1956. Prix : 15 s.

Quelque 500 brasseries importantes subviennent, en Grande-Bretagne, aux besoins des consommateurs. Elles occupent plus de 750.000 personnes. Dans le présent livre, Andrew CAMPBELL expose les principes qui sont à la base de la science — et de l'art — du brassage. Il disserte sur les matières premières qui interviennent dans la fabrication de la bière. Il montre ce que fut ce breuvage dans le passé et ce qu'il est aujourd'hui. Il souligne son rôle dans la nutrition et dans le maintien de la santé. Il donne des directives en ce qui concerne le choix d'une bière selon son degré alcoolique et le lieu où elle se déguste.

H. L. EDLIN. — *Trees, woods and man* (Les arbres, les forêts et l'homme). 272 p., 2 fig., 24 pl. en noir et blanc, 24 pl. en couleurs. The New Naturalist, nº 32. Collins, London, 1956. Prix : 30 s.

La séduisante collection « The New Naturalist » que nous devons au bon goût de l'éditeur COLLINS, vient de s'enrichir d'un ouvrage traitant des aspects écologiques des arbres et des forêts mais, surtout, de l'influence de l'homme sur les massifs boisés. Son auteur, H. L. EDLIN, retrace les vicissitudes des forêts au cours des âges. Il évoque le rôle de la *Forestry Commission* qui modifia profondément le faciès des bois. Il pose les principes de leur conservation.

H. GODWIN. — *The history of the British flora* (Histoire de la flore de la Grande-Bretagne). 384 p., 119 fig., 26 pl. hors texte. At the University Press, Cambridge, 1956. Prix : 90 s.

Le livre de H. GODWIN contient les faits essentiels à la compréhension de la

phytogéographie. Les types révolus de la végétation ont pu être reconstitués à l'aide des nouvelles techniques de la paléographie, spécialement de l'analyse pollinique. L'auteur a pu établir une clef des climats des anciens âges ainsi que la chronologie des temps préhistoriques. Il a décrit l'évolution des végétaux depuis les dernières époques glaciaires et il a signalé, en passant, l'extinction de plusieurs espèces. Partant de la connaissance du passé, GODWIN a pu expliquer la distribution présente de la flore en Grande-Bretagne.

DIVERS AUTEURS. — *Radiobiology symposium 1954* (Symposium de radiobiologie 1954). 362 p., ill. Butterworths Scientific Publications, London, 1955. Prix : 60 s.

Le présent volume, ordonné et présenté par Z. M. BACQ et P. ALEXANDER, contient les communications qui ont été faites au cours du symposium de radiobiologie qui s'est tenu, à Liège, en août-septembre 1954. La majorité des conférences sont consacrées aux recherches les plus récentes poursuivies avec les radiations ionisantes dans les domaines de la physique, de la chimie, de la biologie et de la médecine.

SIR ARTHUR KEITH. — *Darwin revalued* (Darwin en vedette). 294 p., 1 portrait, 4 fig. Watts and Co., London, 1955. Prix : 25 s.

Bien que de nombreux ouvrages aient été consacrés à Charles DARWIN, le chercheur trouvera à glaner dans celui que Sir Arthur KEITH a voué au naturaliste anglais. La première partie de la monographie expose la vie familiale et affective de Darwin ; la seconde tente d'expliquer la genèse de ses travaux et en montre l'incidence sur le mouvement scientifique. Tant l'homme que le savant laissent un grand nom.

G. E. FUSSELL. — *Village life in the 18th century* (La vie au village au XVIIIe siècle). 84 p., 11 pl. hors texte. Littlebury and Co. Ltd., Worcester, s. d. Prix : 9 s. 6 d.

G. E. FUSSELL s'est spécialisé dans l'histoire de l'agriculture et de la vie rurale en Grande-Bretagne, particulièrement depuis les Tudors jusqu'à l'époque victorienne. Dans la présente publication, il étudie la géographie, les habitants, l'administration et les maisons du village anglais dans la première partie du XVIIIe siècle. Il se penche sur les travaux des ruraux et sur leur vie sociale. Il donne, enfin, un aperçu du commerce local.

B. ACWORTH. — *Bird and butterfly mysteries* (Les mystères des oiseaux et des papillons). Introduction de B. VESEY-FITZGERALD. 303 p., 11 fig., 1 carte, 2 pl. hors texte en couleurs. Eyre and Spottiswoode, London, 1955. Prix : 30 s.

Louable tentative d'élucider certains « mystères » inhérents à la vie des oiseaux et des papillons : les migrations, les mœurs du coucou, le mimétisme, la dispersion et la distribution géographique, l'instinct.

H. E. DALE. — *Daniel Hall, pioneer in scientific agriculture* (Daniel Hall, pionnier de l'agriculture scientifique). 241 p., 7 ill. John Murray, London, 1956. Prix : 21 s.

Cette enthousiaste monographie est vouée à la vie et à l'œuvre exaltantes de Daniel HALL (1864-1942), pionnier de l'agriculture scientifique en Grande-Bretagne. Sir HALL fut successivement directeur du « Wye Agricultural College », de la « Rothamsted Experimental Station » et de la « John Innes Horticultural Institu-

tion ». Il consacra toute sa carrière à la mise en œuvre des systèmes scientifiques nouveaux dont l'efficacité assura le succès de l'agriculture et de l'horticulture britanniques.

A. SCHWANKL. — *What wood is that?* (Quel est ce bois ?). Traduit de l'allemand, avec une préface, par H. L. EDLIN. 162 p., 125 ill., 10 pl. hors texte. Thames and Hudson, London, 1956. Prix : 25 s.

L'auteur discute les caractères susceptibles d'identifier, sans l'aide du microscope, les principaux bois croissant en Europe, en Amérique du Nord et dans les régions tempérées de l'Asie ainsi que quelques essences précieuses importées des tropiques. Il expose clairement la façon de se servir des clefs de détermination et il décrit en détail les différents types de bois. Sur dix planches hors textes sont collés quarante échantillons de bois débités en lamelles qui montrent la couleur, le grain ou la maille des essences forestières étudiées.

D. MC CLINTOCK and R. S. FITTER. — *The pocket guide to wild flowers* (Le guide de poche des fleurs sauvages). Avec la collaboration de F. ROSE. 340 p., nombr. ill., 64 pl. en couleurs, 48 pl. en blanc et noir. Collins, London, 1956. Prix : 25 s.

A l'aide de cette excellente flore, le botaniste amateur pourra déterminer aisément les fleurs sauvages qu'il découvrira dans ses randonnées à travers les campagnes britanniques. La reproduction de quelque 600 plantes en couleurs et de plus de 700 en noir et blanc est due au talent de D. FITCHEW, P. FREEMAN, H. CHILD, C. NEWSOME-TAYLOR, E. DICKSON, F. ROSE et C. ESPLAN.

B. PARK. — *Collins guide to roses* (Le guide des roses de Collins). 288 p., 64 pl. en couleurs, 16 pl. en noir et blanc. Collins, London, 1956. Prix : 25 s.

L'amateur de roses et le professionnel trouveront dans le guide captivant que voici tous les renseignements utiles à la culture de leurs fleurs préférées. Le répertoire des variétés est particulièrement bien fourni : environ 1350 sortes sont décrites.

R. SUDELL (ÉDITEUR). — *The new illustrated gardening encyclopaedia* (Nouvelle encyclopédie illustrée du jardinage). 672 p., nombr. ill., 32 p. de photographies. Odhams Press Ltd., London, s. d. Prix : 16 s.

La disposition alphabétique des matières de cette nouvelle encyclopédie rend aisée toute recherche relative à l'une ou l'autre matière horticole. A côté d'une sérieuse documentation sur les fleurs et sur les légumes, l'amateur des jardins trouvera des renseignements sur les sujets les plus divers : travaux saisonniers, plans de jardins, serres, sols, etc.

M. K. SCHWITZER. — *Margarine and other food fats* (Margarine et autres graisses alimentaires). 385 p., 19 fig., 22 pl. hors texte. Leonard Hill Ltd., London, 1956. Prix : 46 s.

Dans ce livre écrit pour des chimistes et des techniciens, M. K. SCHWITZER expose les diverses phases de la fabrication de la margarine et des autres graisses alimentaires. Il traite aussi de l'histoire, du commerce, des applications industrielles, des aspects diététiques et légaux des graisses alimentaires.

R. GOOD. — *Features of evolution in the flowering plants* (Faits d'évolution chez les Phanérogames). 405 p., 162 fig. Longmans, Green and Co., London, New York and Toronto, 1956. Prix : 30 s.

Les Phanérogames sont examinées sous l'angle de l'évolution. Les Asclépiadacées et les Composées sont tout spécialement étudiées. L'auteur traite des phénomènes de répétition et de ressemblance superficielle.

E. G. Couzens and V. E. Yarsley. — *Plastics in the service of man* (Les matières plastiques au service de l'homme). 315 p., 28 fig., 16 pl. hors texte. Pelican Books A272. Penguin Books, Harmondsworth, 1956. Prix : 3 s. 6 d.

Considérées au début, non sans quelque dédain, comme des produits de remplacement, les matières plastiques ont été reconnues, par la suite, comme des matériaux de valeur ayant leurs propres vertus. Cet ouvrage, tout d'actualité, traite des matières premières organiques ou minérales à l'aide desquelles on les prépare, de leur structure et de leurs propriétés, de leur fabrication, de leurs applications domestiques, industrielles et artistiques, ainsi que de leur importance mondiale et de leurs possibilités d'avenir.

L. Laloyaux. — *Le travail de la scie circulaire. Application au sciage du Diambi (Guarea cedrata)*. 46 p., 8 photos hors texte. Publ. INÉAC, Bruxelles. Série Techn. nº 50, 1956.

Le présent travail a été réalisé sous l'égide de la Commission d'étude des bois congolais. La première partie, contribution à l'étude du travail de la scie circulaire, traite du mouvement curviligne de l'extrémité d'une dent, du mouvement de translation du bois, de la longueur de la trajectoire d'une dent dans le bois, de la notion de morsure et de l'épaisseur du copeau. La seconde partie met en lumière la liaison qui s'est progressivement établie entre la grandeur de la morsure et la durée de coupe des lames dans le débit de *Guarea cedrata*.

M. J. Moroney. — *Facts from figures* (Faits et chiffres). 3e édition revue. 472 p., 107 fig. Pelican Books A236. Penguin Books, Harmondsworth, 1956. Prix : 5 s.

Il s'agit d'un excellent traité de statistique dont l'appareil mathématique est mis à la portée du non-spécialiste. L'auteur souligne non seulement les possibilités actuelles des techniques statistiques dans les diverses branches de l'industrie et de la recherche, mais il montre aussi leurs limites. La théorie des probabilités, la pratique de l'échantillonnage et l'analyse de la variance et de la covariance, entre autres, sont exposées de façon lumineuse.

R. Buchsbaum. — *Animals without backbones* (Les Invertébrés). 2 vol. 401 p., nomb. ill., 128 pl. hors texte. Pelican Books A 187 and A 188. Penguin Books, Harmondsworth, 1955. Prix : 3 s. 6 d. chacun des volumes.

Le présent travail constitue une excellente introduction à l'étude des Invertébrés : amibes, cœlenthérés, spongiaires, coraux, vers, insectes, etc. Des dessins d'une remarquable valeur didactique et des photographies suggestives d'animaux prises sur le vif rehaussent encore un texte éminemment scientifique.

H. Munro Fox. — *The personality of animals* (La personnalité animale). 155 p., 16 pl. hors texte. Pelican Books A 78. Penguin Books, Harmondsworth, 1952. Prix : 2 s. 6 d.

Dans cet aperçu sur le comportement des animaux, le professeur Munro Fox montre combien les manifestations vitales de ceux-ci dépendent des perceptions de leurs sens, de leur instinct, de leur aptitude à apprendre, de leur « langage » et,

disons-le, de leur intelligence. Ce livre traite principalement de l'éthologie des mammifères, des oiseaux et des abeilles.

G. N. Tyrrell. — *The personality of man* (La personnalité humaine). 295 p. Pelican Books A165. Penguin Books, Harmondsworth, 1954. Prix : 2 s. 6 d.

Curieuse contribution, exempte de crédulité et de superstition, aux recherches psychiques entreprises en matière de télépathie, de prémonition, d'écriture automatique, de croyances religieuses, etc.

S. Cole. — *The prehistory of East Africa* (La préhistoire de l'Afrique de l'Est). 301 p., 43 fig., 10 cartes, 16 pl. hors texte. Pelican Books A316. Penguin Books, Harmondsworth, 1954. Prix : 2 s. 6 d.

Bien que consacré plus spécialement à la préhistoire du Kenya, le présent livre remonte dans le lointain passé du Tanganyika, de l'Uganda, du Somaliland, de l'Abyssinie et du Soûdan.

W. W. Sawyer. — *Prelude to mathematics* (Prélude aux mathématiques). 214 p., 85 fig. Pelican Books A327. Penguin Books, Harmondsworth, 1955. Prix : 2 s. 6 d.

Dissertation sur « l'esprit mathématique » et les qualités requises pour être un vrai mathématicien. Aperçu de quelques branches passionnantes des mathématiques : géométries non euclidiennes, algèbre des matrices, déterminants, etc.

A. S. Romer. — *Man and the Vertebrates* (L'Homme et les Vertébrés). 2 vol. 437 p., nombr. ill., 128 pl. hors texte. Pelican Books A303 and A304. Penguin Books, Harmondsworth, 1954. Prix : 3 s. 6 d. chacun des volumes.

L'auteur esquisse l'évolution parallèle du groupe entier des Vertébrés : batraciens, reptiles, oiseaux, mammifères, primates, etc. Une attention toute spéciale est accordée aux origines de l'homme et aux différentes races.

Roy Genders. — *Hedges* (Les haies). 94 p., 7 fig., 4 pl. hors texte. W. and G. Foyle Ltd., London, 1956. Prix : 3 s.

Plantation des haies. Soins à leur accorder. Essences à feuilles colorées pour haies. Buissons florifères pour haies. Les haies au littoral, dans les jardins des villes et à la campagne. Plantes convenant pour haies basses, etc.

L. H. Tippett. — *Statistics*. 2nd ed. 224 p., 17 fig. The Home University Library of Modern Knowledge, n° 156. Geoffrey Cumberlege, Oxford University Press, London, New York, Toronto, 1956. Prix : 7 s. 6 d.

La présente publication met à la portée du statisticien, de l'étudiant et du grand public les méthodes statistiques les plus modernes. Elle en montre les possibilités et les limites. Elle discute de l'importance et des réalisations des statistiques dans les différents champs d'application.

H. V. Thompson and A. N. Worden. — *The rabbit* (Le lapin). 240 p., 21 fig., 8 pl. hors texte. A New Naturalist special volume. Collins, London, 1956. Prix : 16 s.

La monographie sous revue traite entre autres, de la classification de l'ordre des *Lagomorpha* et de ses deux familles : les *Leporidae* et les *Ochotonidae*, de la physiologie, de la reproduction et de l'écologie du lapin *(Oryctolagus cuniculus)*, des parasites et des maladies, spécialement de la myxomatose, des dommages causés aux récoltes. Un glossaire, une bibliographie et un index complètent le volume.

W. E. Hiley. — *Economics of plantations* (Aspects économiques des plantations forestières). 216 p., 9 fig. Faber and Faber Ltd., London, 1956. Prix : 25 s.

L'auteur dénonce plusieurs méthodes anti-économiques s'appliquant aux plantations forestières britanniques. Il discute la formule de Faustmann couramment employée dans le calcul du rendement économique des plantations. Il prône de nouvelles techniques d'élagage, d'éclaircie et de rotation qui, si elles ont été peu étudiées jusqu'ici, augmenteraient pourtant sensiblement les possibilités et la rentabilité des forêts de la Grande-Bretagne.

R. A. Fisher. — *Statistical methods and scientific inference* (Les méthodes statistiques et leurs implications scientifiques). 175 p., 5 fig. Oliver and Boyd, Edinburgh and London, 1956. Prix : 16 s.

Dans ses deux précédents ouvrages : *Statistical methods for research workers* et *The design of experiments*, sir Ronald Fisher visait surtout les applications pratiques de la statistique. Au long du présent livre, il discute les aspects théoriques et la nature logique des méthodes statistiques et de leurs implications scientifiques.

E. Biasutti Owen. — *The storage of seeds for maintenance of viability* (Emmagasinage des graines en vue du maintien de leur viabilité). 81 p. Bulletin 43 of the Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, 1956. Prix : 20 s.

Il s'agit d'une revue de la littérature consacrée à la façon d'emmagasiner les graines afin de préserver leur viabilité. T. Ashton a consacré un chapitre spécial aux aspects génétiques du stockage des semences. La bibliographie mentionne quelque 375 références.

C. S. Larsen. — *Genetics in silviculture* (Génétique forestière). Translated by M. L. Anderson. 224 p., 70 fig. Oliver and Boyd, Edinburgh and London, 1956. Prix : 30 s.

C. Syrach Larsen, de Copenhague, a acquis une réputation mondiale en matière de génétique des essences forestières. Dans le présent livre, il met à la portée de tous ceux qui s'intéressent aux forêts, l'expérience qu'il a vécue durant vingt-cinq années. La génétique du mélèze est traitée dans un chapitre spécial.

W. M. Findlay. — *Oats* (Les avoines). 207 p., 1 portrait. Aberdeen University Studies n° 137. Oliver and Boyd, Edinburgh and London, 1956. Prix : 21 s.

Culture des avoines en Écosse depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours : les *Avena* sauvages, la sélection et l'amélioration, les variétés anciennes et récentes, la semence, les mauvaises herbes, les maladies, la valeur alimentaire et les usages.

A. Beaumont. — *Diseases of garden plants* (Les maladies des plantes des jardins). 152 p., 16 fig., 63 photos hors texte. W. H. and L. Collingridge Ltd., London, 1956. Prix : 25 s.

Symptômes et contrôle des maladies affectant les fleurs et arbustes ornementaux, les légumes et autres plantes potagères, les fruits et les gazons.

A. M. Coats. — *Flowers and their histories* (Histoire des fleurs). 348 p., 15 pl. hors texte dont 8 en couleurs. Houlton Press, London, 1956. Prix : 30 s.

Le présent livre aborde un sujet peu rebattu quoique passionnant. Il retrace l'histoire des plantes herbacées décorant les jardins et des plantes médicinales les plus cultivées en Grande-Bretagne. Il esquisse la biographie des personnalités qui ont illustré la botanique des plantes ornementales.

G. GRIGSON. — *The Englishman's Flora* (La Flore de l'Anglais). 478 p., 45 pl. hors texte. Phœnix House Ltd., London, 1955. Prix : 95 s.

Dans cette Flore de présentation nouvelle, Geoffrey GRIGSON constitue le « dossier humain » de plantes que l'on rencontre en Grande-Bretagne. Si la nomenclature et la distribution systématique sont classiques, les végétaux et leurs divers organes sont considérés dans leurs rapports avec les besoins des hommes. Il s'ensuit qu'aux notions purement botaniques se mêlent des considérations de littérature, d'art, de médecine, de folklore, de mythologie et même de magie. L'ouvrage est illustré de gravures sur bois extraites des vieux herbiers du XVI[e] siècle.

N. MOORE. — *The tall bearded iris* (Les iris nains des jardins). 120 p., 6 dessins par Dora RATMAN, 9 pl. hors texte dont une en couleurs. W. H. and L. Collingridge Ltd., London, 1956. Prix : 21 s.

Après avoir montré les progrès réalisés, au cours des âges, dans la culture et la sélection des iris ornementaux, l'auteur décrit, classées d'après leurs couleurs, les variétés naines d'iris *(Iris pallida* et *I. variegata)* qui décorent aujourd'hui nos jardins. Il dévoile ensuite les objectifs des généticiens en ce qui concerne la recherche de nouveaux iris nains à couleurs inédites.

J. K. STANFORD. — *British Friesians* (Le bétail de Frise en Grande-Bretagne). 216 p., 16 pl. hors texte. Max Parrish, London, 1956. Prix : 18 s. 6 d.

Histoire du bétail de Frise en Grande-Bretagne, depuis son importation des Pays-Bas jusqu'à nos jours. Rôle et résultats de la « British Friesian Cattle Society » fondée en 1909.

H. B. COTT. — *Zoological photography in practice* (Pratique de la photographie des animaux). 370 p., 37 fig., 68 pl. hors texte. Fountain Press, London, 1956. Prix : 52 s. 6 d.

De plus en plus, la photographie apporte une aide efficace à la recherche scientifique et à la documentation. Le naturaliste désireux de photographier les animaux en pleine nature trouvera ici la technique propre à satisfaire son dessein. De judicieux commentaires accompagnent les photos réalisées.

P. IZARD. — *Le peuplier*. 88 p., 32 fig. La Maison Rustique, Paris, 1956. Prix : 430 fr. fr.

Les plantations rationnelles de peupliers sont des sources de revenus substantiels. Le présent ouvrage réunit un grand nombre d'indications pratiques sur les types de peupliers cultivés en France, sur les lieux qui leur conviennent, sur l'exécution des plantations, sur les soins culturaux, sur les ennemis, sur le cubage des bois, etc. Il indique comment le Fonds forestier national encourage les plantations de peupliers. Il donne des indications sur la populiculture en Italie.

J. COTTENET. — *Les explosifs au service de l'agriculture*. 2[e] édition. 104 p., 71 fig. La Maison Rustique, Paris, 1956. Prix : 460 fr. fr.

L'agriculteur devrait faire un appel plus large aux explosifs. Ceux-ci conviennent

à la plantation des arbres (surtout en terrains rocheux ou humides), à l'extirpation des essences ligneuses, à la destruction des souches, à l'élimination des roches qui encombrent les terres susceptibles d'être cultivées. Les explosifs trouvent aussi des applications avantageuses dans le sous-solage, dans le drainage et dans les fouilles des constructions rurales. Toutes les indications nécessaires sont données sur le matériel et les opérations à effectuer.

S. B. WHITEHEAD. — *Carnations today* (Œillets d'aujourd'hui). 180 p., 16 fig., 49 planches hors texte dont 2 en couleurs. John Gifford, London, 1956. Prix : 16 s.

Après avoir retracé l'histoire des œillets, Stanley B. WHITEHEAD traite des variétés d'aujourd'hui, de leur culture, de leur multiplication, du compost qui leur convient, de leurs ennemis et maladies et des moyens de les combattre.

R. L. MURRAY. — *Introduction to nuclear engineering* (Introduction à la physique nucléaire). 418 p., 127 fig. G. Allen and Unwin, London, 1955. Prix : 30 s.

Dans cette excellente introduction à la physique nucléaire sont traitées, entre autres, les questions suivantes : les neutrons, la fission et les réactions en chaînes, les isotopes stables et radioactifs, le circuit des fluides, les réacteurs, la protection contre les radiations, le traitement des résidus, les détecteurs et instruments de contrôle, la propulsion des avions, des sous-marins et des fusées par l'énergie nucléaire. Chaque chapitre est suivi d'une bibliographie spéciale.

A. C. HARDY. — *The open sea. The world of plankton* (La mer révélée. Le monde du plancton). 335 p., 103 fig., 48 pl. hors texte dont 24 en couleurs. The New Naturalist nº 34. Collins, London, 1956. Prix : 30 s.

La presque totalité du présent ouvrage est consacrée au phytoplancton et au zooplancton. L'auteur expose aussi les manifestations de la vie dans les profondeurs et les phénomènes de phosphorescence. Il décrit les animaux des abysses. Les illustrations sont remarquables et la bibliographie est étendue.

A. G. HELLYER. — *Flowers in colour* (Fleurs en couleurs). 128 p., abondante illustration. W. H. and L. Collingridge, London, 1955. Prix : 21 s.

Dans cette monographie destinée à l'amateur sont décrites quelque 1000 plantes de plein air et de serre. Le texte est agrémenté d'aquarelles de Cynthia NEWSOME-TAYLOR et de gravures sur bois de J. D. SOWERBY. Il est suivi d'un index des noms communs des fleurs.

E. A. BERNARD. — *Le déterminisme de l'évaporation dans la nature. Étude des aspects géophysique et écologique du problème dans le cadre du bilan énergétique. Première partie. Généralités théoriques.* 162 p. Publ. INÉAC, série scient. nº 68, Bruxelles, 1956.

La première partie du travail de E. A. BERNARD est entièrement théorique. L'auteur traite du problème de l'évaporation naturelle, de l'équation du bilan d'énergie pour une étendue naturelle horizontale, des termes normaux et des termes complémentaires de l'équation du bilan d'énergie, de l'expression rationnelle de l'évaporation d'une surface horizontale par les éléments microclimatiques mesurables, de l'équation du bilan d'énergie pour un corps isolé.

D. BARTRUM. — *Climbing plants for your garden* (Les plantes grimpantes pour votre jardin). 80 p., 2 fig., 4 pl. hors texte. W. and G. Foyle, London, 1956. Prix : 3 s.

Plantes grimpantes des jardins, classées d'après les saisons où leur effet décoratif est le plus grand.

J. G. Cook. — *The world of water* (Le monde de l'eau). 192 p., 13 ill. G. Harrap and Co Ltd., London, 1956. Prix : 12 s. 6 d.

Rôle de l'eau sous ses différents aspects. Un livre qui sera plein de révélations pour le grand public.

L. Wickenden. — *Gardening with nature* (Jardinage selon la nature). 317 p., nombr. ill., 8 pl. hors texte. Faber and Faber Ltd., London, 1956. Prix : 21 s.

Léonard Wickenden est un chimiste américain qui, au cours des dernières années, a propagé les enseignements de feu Albert Howard, le maître de l'agriculture organique. Dans le présent ouvrage, il montre comment il faut cultiver les légumes, les fruits et les fleurs selon des méthodes « naturelles ».

J. Köstler. — *Silviculture.* Traduit de l'allemand en anglais par M. L. Anderson. 416 p., 20 pl. hors texte. Oliver and Boyd, Edinburg and London, 1956. Prix : 45 s.

L'édition originale allemande du précieux traité de Köstler parut en 1950 sous le titre : « Waldbau ». L'ouvrage est non seulement consacré à la pratique même de la sylviculture, mais il envisage aussi les facteurs écologiques qui conditionnent la croissance et le développement des essences forestières de l'Europe tempérée, tant indigènes qu'acclimatées.

T. A. Layton. — *Wine's my line* (Le vin, c'est mon affaire !). 256 p., 7 pl. hors texte. G. Duckworth, London, 1955. Prix : 18 s.

Un grand amateur de vins évoque ici, pour notre délectation, les anecdotes et les souvenirs ayant trait à ces breuvages. Un plaisant chapitre est dédié à Nicolas Fouquet, chancelier du Roi Soleil.

V. H. Mottram and G. Graham (revised by). — *Hutchison's food and the principles of dietetics* (Les aliments et les principes de la diététique d'Hutchison). 11e édition. 630 p., 17 ill. E. Arnold, London, 1956. Prix : 40 s.

Le livre débute par un aperçu de l'histoire de la diététique. La première partie est consacrée à l'étude du régime alimentaire en vie normale. Elle contient des indications relatives à la cuisson, à l'hygiène alimentaire, à la digestion, à l'absorption et au métabolisme des aliments. La deuxième partie traite des divers aliments en fonction de leur teneur en protéines, en matières minérales et en vitamines. Elle développe les questions inhérentes aux régimes alimentaires spéciaux (enfants et malades), aux cures et à l'alimentation artificielle.

M. W. Jepps. — *The Protozoa, Sarcodina.* 183 p., 80 fig., 1 pl. hors texte. Oliver and Boyd, Edinburgh and London, 1956. Prix : 30 s.

Les Protozoaires forment quelque 10 p. c. des animaux vivants. La présente monographie est consacrée à la zoologie comparée de la première classe de l'embranchement des Protozoaires, c'est-à-dire aux *Sarcodina* (Amibes, Foraminifères, Radiolaires et Myxomycètes, entre autres). L'ouvrage, dont la typographie fait honneur à la maison Oliver et Boyd, sera d'un grand secours aux étudiants en biologie des dernières années d'université ainsi qu'aux chercheurs de laboratoire

qui font de la zoologie l'objet de leurs préoccupations. Un soin particulier a présidé à l'élaboration de la bibliographie et de l'index.

C. H. Waddington. — *Principles of embryology*. 510 p., 186 fig. George Allen and Unwin, London, 1956. Prix : 45 s.

L'auteur, haute personnalité parmi les zoologistes, décrit les phénomènes de l'embryologie dans les divers groupes d'animaux. Il expose les processus de la morphogenèse, du développement, de la différentiation, de la fertilisation et de la régénération. Il souligne le rôle des gènes et des plasmagènes. Les données récentes de l'embryologie expérimentales éclairent les mécanismes de la génétique.

R. W. Schery. — *Plants for man* (Les plantes au service de l'homme). 564 p., 335 photos. George Allen and Unwin, London, 1954. Prix : 70 s.

Dans ce livre, un des meilleurs du genre, Robert W. Schery a rassemblé une masse énorme de renseignements sur l'intérêt économique des plantes, sur les produits que l'homme en retire (bois, fibres, résines, latex, gommes, huiles, sucre, amidon, substances médicinales, insecticides et herbicides, etc.) ainsi que sur les parties des végétaux qui sont utilisées pour l'alimentation et la boisson.

R. C. Gaut. — *A history of Worcestershire agriculture and rural evolution* (Histoire de l'agriculture du Worcestershire et de son évolution rurale). 490 p. Littlebury and Co., The Worcester Press, Worcester, 1939. Prix : 15 s.

Aperçu sur l'histoire de l'agriculture, de l'horticulture et de la vie rurale dans le Worcestershire depuis les premiers « settlers » jusqu'à nos jours. Renseignements intéressants sur le *Domesday Book*, sur les communaux et les enclosures, sur la révolution agricole et sur les pionniers de l'agriculture progressiste.

G. W. Himus and G. S. Sweeting. — *The elements of field geology* (Éléments de géologie appliquée). 2e édition. 270 p., 54 fig., 2 cartes. University Tutorial Press, London, 1955. Prix : 16 s.

Les enseignements du présent manuel de géologie permettront de déterminer aisément, pour les terrains prospectés, les roches composantes, les fossiles qu'on y trouve, la distribution des couches, leur composition, leur âge relatif. Des indications sont données sur l'équipement du géologue sur le terrain et sur la confection et l'interprétation des cartes géologiques.

Sir E. J. Russell. — *The land called me* (Une vocation d'agronome). 286 p., 5 pl. hors texte. George Allen and Unwin, London, 1956. Prix : 25 s.

Biographie de Sir E. John Russell qui contribua à répandre le renom de la Station Expérimentale de Rothamsted dont il fut longtemps directeur.

Sir F. Macfarlane Burnet. — *Enzyme, antigen and virus*. 193 p., 8 fig. At the University Press, Cambridge, 1956. Prix : 18 s.

Un des problèmes cruciaux de la biologie d'aujourd'hui est celui de la synthèse des protéines. Les enzymes, les anticorps et les virus contiennent ou constituent de grosses molécules de protéine à haute spécificité fonctionnelle. L'auteur se fait l'écho des connaissances les plus modernes relativement à ces substances et souligne, à l'aide d'exemples suggestifs, le rôle qu'elles jouent dans l'organisme.

R. Georlette.

## REVUE DES PÉRIODIQUES BELGES

DIVERS AUTEURS. *Principales indications pratiques résultant d'essais effectués en 1955 à la Station de Recherches de l'État pour l'Amélioration des plantes de grande culture, à Gembloux.* Revue de l'Agriculture, 9e année, nº 9, p. 1055-1099, 1956.

La présente publication rassemble les articles relatifs aux essais effectués en 1955, sous la direction de Em. LAROSE, à la Station de Recherches de l'État pour l'Amélioration des plantes de grande culture à Gembloux. Ce sont : *La nouvelle variété d'orge d'hiver « Manon »* et *Le comportement des orges de printemps en zone limoneuse,* par A. MOËS ; *Essais sur variétés de froment d'hiver* et *Essais sur variétés de froment de printemps,* par L. NOULARD ; *La production de graines de vesce commune de printemps, La vesce commune, engrais vert d'été* et *Essais sur variétés de tabac,* par P. CANTILLON ; *Essais sur féveroles* et *Essais régionaux,* par P. DERENNE ; *Essais sur lin à fibre* et *Une nouvelle variété d'avoine « Vigor »,* par Em. LAROSE et J. DELVAUX.

KINT, G. A. *Contribution à l'application de l'accord européen pour l'unification des méthodes de contrôle laitier-beurrier.* Revue de l'Agriculture, 9e année, nº 9, p. 1100-1121, 1956.

L'auteur expose une méthode de contrôle laitier-beurrier qui pourrait servir de base à une uniformisation des méthodes en répondant au maximum, aux stipulations de l'accord européen en la matière. La méthode permet d'obtenir simultanément les résultats du contrôle laitier-beurrier pour l'exercice financier, pour la période de lactation et pour les 305 premiers jours de la lactation.

WAHL, P. *L'automation et la sucrerie.* La Sucrerie Belge, 76e année, nº 2, p. 57-78, 15 octobre 1956.

Après avoir exposé l'automation d'une manière générale, l'auteur fait le bilan de l'automation existant déjà dans les divers secteurs de la sucrerie : diffusion, carbonatation, cuisson, évaporation, essorage, alimentation des chaudières, etc. Il indique les voies les plus sûres et les plus économiques pour pousser plus loin encore l'automation en sucrerie.

GATHY, P. *Aperçu des recherches en matière de génétique forestière.* Bull. Soc. roy. forest. Belg., 63e année, nº 10, p. 393-433, 1956.

L'auteur donne un aperçu des travaux de génétique forestière poursuivis depuis plus de cinquante ans par la Station de Recherches et l'Administration des Eaux et Forêts de Belgique. Les travaux de génétique tendent actuellement à préciser, dans les vastes complexes des races, les écotypes les plus intéressants pour nos différentes stations. La sélection de populations s'attache également à recenser des peuplements « plus ». La sélection individuelle a été appliquée à la distinction des arbres d'élite ; son but final est la création de vergers à graines.

LENOIR, R. *Informations diverses au sujet de Metasequoia glyptostroboides.* Bull. Soc. roy. forest. Belg., 63e année, nº 10, p. 434-437, 1956.

*Metasequoia glyptostroboides* a remarquablement supporté, chez nous, le rude hiver 1956. Ce conifère à feuilles caduques a ainsi acquis des titres à la naturali-

sation. D'après les premiers essais, s'il est accommodant, il vient le mieux en terrain frais, assez meuble et en pleine lumière.

LECLERC, Edm., BEECKMANS DE WEST-MEERBEECK, I et BEAUJEAN, P. *Bassins de décantation de sucreries.* Bull. Centre belge Ét. et Docum. Eaux, nº 33, p. 154-172, 1956/III.

Il s'agit d'une étude fouillée du fonctionnement, en 1955, des bassins de décantation à eaux boueuses de lavage et de transport de betteraves de cinq sucreries du pays : Waremme, Oreye, Wavre, Fexhe-le-Haut-Clocher, Tirlemont. Elle procède à la comparaison des divers décanteurs entre eux et par rapport au décanteur primaire installé à Waremme. Elle permet de déterminer les meilleures conditions de marche et de rendement.

LECRENIER, A. et TILKIN, V. E. *L'amélioration des variétés en culture maraîchère.* Le Bulletin Horticole, n. s., vol. XI, nº 11, p. 327-330, 1956.

Parmi les techniques qui permettent d'améliorer les variétés en culture maraîchère, l'hybridation artificielle tient la toute première place. Elle se présente sous trois modalités : l'hybridation suivie de sélection, la méthode du « backcross », la production massive d'hybrides $F_1$.

MICHIELS, A. *Le calcul de l'efficacité des fongicides et des insecticides.* Parasitica, t. XII, nº 3, p. 57-70, 1956.

Après quelques commentaires sur les essais de fongicides réalisés par la méthode de MAC CALLAN, l'auteur montre que le processus préconisé dès 1942 par LE GOUPILS permet de se faire une meilleure idée de la valeur relative d'un fongicide ou d'un insecticide.

SEMAL, J. *Transmission par pucerons de Cucumis virus I var.* CHR. NOORDAM *de céleri à céleri.* Parasitica, t. XII, nº 3, p. 71-73, 1956.

*Cucumis virus I var.* CHR. NOORDAM a pu être transmis de céleri à céleri par *Myzus persicae* SULZER. Par contre, dans les mêmes conditions expérimentales, la transmission a échoué avec *Myzus ascalonicus* DONCASTER et avec *Aphis gossypii* GLOVER.

PARMENTIER, G. *Essai d'orientation pour l'étude de l'efficacité des fongicides contre l'oïdium des céréales.* Parasitica, t. XII, nº 3, p. 74-86, 1956.

Lorsqu'on leur adjoint au moment de l'emploi un agent tensio-actif adéquat, le soufre mouillable, le crotonate de dinitrooctylphénol et le polysulfure de barium constituent les meilleurs produits de lutte contre l'oïdium des céréales. Une méthode de test de l'efficacité globale des fongicides est proposée.

VAN DEN BRUEL, W. E., MOENS, R. et BOLLAERTS, D. *Une nouvelle méthode de destruction applicable au rat musqué (Ondatra zibethicus L.) : l'asphyxie des nichées par l'hydrogène phosphoré.* Parasitica, t. XII, nº 3, p. 87-114, 1956.

Les auteurs donnent les résultats de plusieurs expériences effectuées au laboratoire en vue de détruire les rats musqués. Elles ont eu pour but de rechercher la concentration en hydrogène phosphoré entraînant la mort rapide des rongeurs, d'étudier la sensibilité de ces derniers à l'égard du gaz toxique, de vérifier le com-

portement des *Ondatra* se trouvant brusquement en présence d'un dégagement intense d'hydrogène phosphoré et, enfin, de s'assurer si le gaz diffuse rapidement dans les galeries.

DAGNELIE, P. *Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardenne en relation avec les types phytosociologiques et les facteurs écologiques. 1re partie.* Bull. Inst. Agr. et St. Rech. Gembloux, t. XXIV, n° 3, p. 249-284, 1956.

On considère comme critère de productivité ou de station soit le volume total de matières ligneuses produites à un âge donné, soit l'accroissement annuel moyen total à cet âge de référence. En pratique, pour déterminer la productivité des hêtraies d'Ardenne, seule une méthode basée sur l'étude de la hauteur paraît applicable. Elle permettra, à défaut de données relatives aux hêtraies belges, d'utiliser les tables de productivité établies à l'étranger, dans des conditions voisines de celles de nos régions.

MARTENS, P. H. et NANGNIOT, P. *Contribution à l'étude polarographique des cations les plus usuels. I. Potentiels de demi-onde et coefficients de diffusion en milieux de base variés.* Bull. Inst. Agr. et St. Rech. Gembloux, t. XXIV, n° 3, p. 285-306, 1956.

La valeur des coefficients de diffusion des métaux les plus usuels dans un certain nombre de milieux de base couramment utilisés en polarographie a été déterminée à l'aide de l'équation d'Ilkovic. Les tableaux rassemblant les résultats expérimentaux donnent, notamment, les variations des potentiels de demi-vague et les hauteurs des sauts.

PIRAUX, E., JAMOTTE, P., LACROSSE, R., LHEUREUX, F., DE BRIEY, Th. et PIROT, Y. *Des facteurs conditionnant l'aptitude du beurre à la conservation en frigo. Comment juger rapidement si un beurre convient pour le stockage?* Bull. Inst. Agr. et Stat. Rech. Gembloux, t. XXIV, n° 3, p. 307-350, 1956.

L'étude de la teneur en cuivre des beurres et de l'influencé, entre autres, du traitement thermique des crèmes, du pH et de la matière première a permis aux auteurs de discerner les facteurs qui régissent l'aptitude du beurre à la conservation à l'état congelé et de dégager les tests permettant de juger très rapidement de ladite aptitude.

ENGELBEEN, M. *Aspects complexes et dynamiques de la phytotechnie.* Bull. Agric. Congo Belge, vol. XLVII, n° 5, p. 1215-1241, 1956.

L'auteur souligne les traits essentiels de la phytotechnie, en dégage les objectifs et en décrit les méthodes de travail. Il précise le rôle de l'observation *in situ*. Il condamne les généralisations et simplifications prématurées ou abusives. Le phytotechnicien se préoccupera de déterminer les spéculations et les systèmes les mieux appropriés aux contingences particulières de la région où s'exerce son activité.

KELLENS, E. *Contribution à l'étude du fractionnement de l'huile de palme.* Bull. Agric. Congo Belge, vol. XLVII, n° 5, p. 1263-1289, 1956.

Composition des acides gras et glycérides naturels de l'huile de palme et leur comportement. Méthodes analytiques de contrôle. Fractionnement des glycérides

de l'huile de palme. 3 annexes : dosage des glycérides trisaturés GS3 contenus dans l'huile de palme ; point de fusion et consistance ; manutentions de l'huile de palme en tank.

ISTAS, J. R., HEREMANS, R. et RAEKELBOOM, E. L. *Recherche sur la qualité papetière de quelques bambous récoltés au Congo belge.* Bull. Agric. Congo Belge, vol. XLVII, n° 5, p. 1299-1325, 1956.

L'étude chimique, biométrique et papetière d'échantillons de tiges appartenant à dix espèces de bambous du Congo belge a montré que ce matériel permet de produire, avec de bons rendements, de la pâte au sulfate. *Bambusa vulgaris* et *B. vulgaris* var. *striata* donnent les pâtes possédant les meilleures qualités papetières. Bien que les tiges de bambous de 1 an conviennent déjà pour la production de pâte, il y a intérêt à employer des tiges plus âgées.

DELHAYE, R. J. *Note préliminaire sur la biologie florale et sur la fécondation dirigée du pyrèthre.* Bull. Agric. Congo Belge, vol. XLVII, n° 5, p. 1327-1343, 1956.

Les points suivants relatifs à la biologie florale et à la fécondation dirigée du pyrèthre, *Chrysanthemum cinerariaefolium* (TREV.) BOCC., sont successivement envisagés : morphologie florale ; morphogenèse (développement général de l'inflorescence et développement des organes mâles et femelles) ; réceptivité des stigmates des fleurons ligulés ; éventualité de l'autofécondation ; importance d'un vecteur pour la réussite de la fécondation ; techniques de fécondation dirigée.

MANIL, G. *L'humus forestier. Première partie : propriétés générales.* Bull. Soc. roy. forest. Belgique, 63e année, n° 11, p. 449-462, 1956.

Après avoir examiné le cours des processus d'humidification, G. MANIL décrit les trois grands groupes d'humus forestier : le *mull*, le *mor* ou humus brut et le *moder*.

PARMENTIER, G. *Techniques d'étude des races physiologiques d'Erysiphe graminis D. C.* Parasitica, t. XII, n° 4, p. 117-124, 1956.

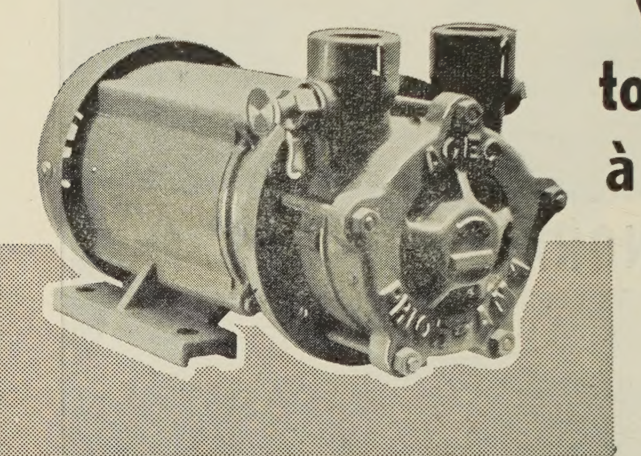
L'étude des races physiologiques d'*Erysiphe graminis* D. C., parasite des céréales, porte sur le matériel biologique (souches à l'essai et plantes-hôtes), sur les techniques d'inoculation et sur les conditions de milieu (lumière, température, arrosage, substrat de culture).

ROLAND, G. *Sur l'identification du virus A.* Parasitica, t. XII, n° 4, p. 125-128, 1956.

De nouveaux essais ont permis à G. ROLAND d'ajouter aux techniques d'identification du virus A (*Solanum virus* 3, MURPHY et M' KAY) qu'il a proposées antérieurement, les méthodes suivantes : dans certains cas, l'inoculation par jus sur de jeunes plantes de *Nicandra physaloides* ; l'inoculation par jus sur feuilles coupées de *Solanum demissum* EBS 99 placées en boîtes de Pétri humides ; le test sérologique sur tabacs inoculés avec le jus de la plante à étudier.

R. GEORLETTE.

# Pour vos problèmes „Pompes" vous avez tout intérêt à consulter les ACEC

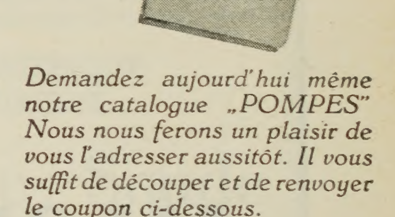


Confier vos problèmes à nos services „ACEC-Pompes" c'est être certain qu'ils seront

- **sérieusement étudiés**
- **rapidement résolus**
- **traités au plus juste prix.**

Disposant d'une gamme complète de pompes modernes, nos services spécialisés vous apporteront une solution basée sur leur vaste expérience dans la construction et l'installation des pompes, des plus petites aux plus puissantes.

**Dès lors, consulter les ACEC, c'est gagner de l'argent !**



*Demandez aujourd'hui même notre catalogue „POMPES" Nous nous ferons un plaisir de vous l'adresser aussitôt. Il vous suffit de découper et de renvoyer le coupon ci-dessous.*

**ACEC-VPV / Département AG 2**
**Charleroi**
*Veuillez m'envoyer gratuitement un exemplaire de votre catalogue „POMPES".*
*Nom* ..........
*Profession* ..........
*Adresse* ..........
..........




**ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ELECTRIQUES DE CHARLEROI**

ÉDITIONS J. DUCULOT, S. A., GEMBLOUX. *(Imprimé en Belgique).*